

TABLE DES MATIERES

Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des photographies	
Notations et abréviations	
INTRODUCTION	6
1^{ER} CHAPITRE : GENERALITES	9
I. Gisement de Bemolanga	10
1. Historique.....	10
2. Situation géographique	10
3. Géomorphologie du Nord du bassin de Morondava	13
4. Aperçu géologique	13
5. Réserves	15
II. Caractéristiques physico-chimiques et mineralogique du grès bitumineux de Bemolanga.....	16
1. Le résidu minéral (le grès)	16
1-1. Analyse chimique	16
1-2. Analyse minéralogique	17
2. Le liant (bitume).....	17
2-1. Analyse physique.....	17
2-2. Analyse chimique	17
2-3. Analyse par fractionnement des hydrocarbures.....	17
III. Les matériaux traités au bitume en revêtement routier	18
3-1. Les enduits superficiels.....	18
3-2. Les sand-asphalts (sable-bitume).....	19
3-3. Les enrobés denses à chaud (EDC).....	19
3-4. Les essais de laboratoire	20
2^e CHAPITRE : VISITE DE RECONNAISSANCE DU GISEMENT ET ECHANTILLONNAGE	25
1. Accès au gisement.....	26
2. Description sommaire des carrières ayant fait l'objet de prélèvements.....	27
2-1. Carrière DRIEZ.....	27
2-2. Carrière au panneau C3.....	30
2-3. Carrière Mitsiotaka	32
3. Prélèvement d'échantillons	34
3-1. Mode de prélèvement.....	34
3-2. Prélèvements	34

3^E CHAPITRE : METHODOLOGIE D'INVESTIGATION	35
1. Axe de recherche.....	36
2. Choix des paramètres d'études	37
3. Programme des essais	38
3-1. Etude du grès bitumeux de Bemolanga à l'état naturel	38
3-2. Etude du grès bitumeux de Bemolanga élaboré avec apport d'autres matériaux.....	38
4. Algorigramme de l'étude	39
4^e CHAPITRE : RESULTATS ET INTERPRETATIONS	41
I- ESSAIS PREALABLES	42
1- Caractéristiques physiques des échantillons bruts.....	42
1-1. Résultats.....	42
1-2. Commentaires	42
2- Extraction du liant.....	43
2-1. Teneur en liant dans les échantillons	43
2-2. Granularité	43
2-3. Commentaires :	45
II- ETUDE DU GRES BITUMINEUX DE BEMOLANGA A L'ETAT NATUREL SANS AJOUT	46
1- Influence de la teneur en liant.....	46
1-1. Résultats.....	46
1-2. Commentaires	48
1-3. Comparaison avec le sand-asphalt.....	49
2. Influence de la température de chauffe	49
2-1. Stabilité Marshall.....	49
2-2. Compacité Marshall.....	51
2-3. Résistance à la compression Duriez (Rc)	53
2.4- Rapport "immersion- compression"	54
2.5- Compacité Duriez	56
3- Conclusions.....	57
III- ETUDE DE GRES BITUMINEUX ELABORE AVEC MELANGE DE GRANULATS	58
1- Les matériaux d'expérimentation	58
2- Influence de la nature des gravillons	60
3- Influence de la formulation.....	62
4- Influence de l'ajout d'un bitume routier.....	64
5- Influence de l'ajout d'un dope.....	65
CONCLUSIONS GENERALES	67

LISTE DES TABLEAUX

Tableau n°1	Densité et poids spécifiques du grès bitumineux de Bemolanga	42
Tableau n°2	Teneur en liant des échantillons de grès bitumineux de Bemolanga	43
Tableau n°3	Caractéristiques liées à la granulométrie des résidus minéraux	45
Tableau n°4	Caractéristiques Marshall et Duriez en fonction de la teneur en bitume	46
Tableau n°5	Stabilité Marshall en fonction de la température	50
Tableau n°6	Compacité Marshall en fonction de la température	51
Tableau n°7	Résistance à la compression Duriez en fonction de la température	53
Tableau n°8	Rapport “immersion- compression” en fonction de la température	54
Tableau n°9	Compacité Duriez en fonction de la température	56
Tableau n°10	Caractéristiques des gravillons d’apport	58
Tableau n°11	Caractéristiques Marshall et Duriez en fonction de la nature des gravillons	60
Tableau n°12	Formules étudiées	63
Tableau n°13	Caractéristiques Marshall et Duriez en fonction des formulations	63
Tableau n°14	Caractéristiques Marshall et Duriez en fonction de l’ajout de bitume ..	65
Tableau n°15	Caractéristiques mécaniques en fonction d’un ajout de dope	66

LISTE DES FIGURES

Figure n°1 : Situation géographique du gisement de Bemolanga	12
Figure n°2 : Succession des couches sédimentaires	14
Figure n°3 : Répartition en bloc du gisement de Bemolanga. Emplacement des carrières de prélèvement.....	15
Figure n°4 : Schéma de la Carrière Driez.....	29
Figure n°5 : Schéma de la carrière au panneau C3.....	31
Figure n°6 : Schéma de la carrière Mitsiotaka	32
Figure n°7 : Algorigramme de l'étude.....	40
Figure n°8 : Courbe granulométrique du résidu minéral.....	43
Figure n°9 : Stabilité Marshall en fonction de la teneur en liant	47
Figure n°10 : Fluage Marshall en fonction de la teneur en liant	47
Figure n°11 : Résistance à la compression Duriez en fonction de la teneur en liant.....	47
Figure n°12 : Rapport « immersion-compression » en fonction de la teneur en liant...	48
Figure n°13 : Evolution de la stabilité Marshall en fonction de la température.....	50
Figure n°14 : Evolution de la Compacité Marshall en fonction de la température	52
Figure n°15 : Evolution de la résistance en fonction de la température	53
Figure n°16 : Evolution du rapport « immersion-compression » en fonction de la température	55
Figure n°17 : Evolution de la compacité Duriez en fonction de la température	56
Figure n°18 : Courbes granulométriques des gravillons d'apport.....	59
Figure n°19 : Evolution des caractéristiques Marshall et Duriez en fonction de la nature des granulats.	61

LISTE DES PHOTOGRAPHIES

Photo n°1 : Carrière DRIEZ, gros blocs lors des anciens abattages.....	26
Photo n°2 : Vue générale d'une partie du gisement	32
Végétation formée de vero et de satrana	

NOTATIONS ET ABREVIATIONS

E	: Echantillon de grès bitumineux
γ	: Densité apparente
γ_s	: Poids spécifique
Σ	: Surface spécifique
Cu	: Coefficient d'uniformité
Cc	: Coefficient de courbure
St	: Stabilité Marshall
CM	: Compacité Marshall
Rc	: Résistance à la compression Duriez (7 jours à l'air)
R'c	: Résistance à la compression Duriez (7 jours dans l'eau)
CD	: Compacité Duriez
$\rho=R'c/Rc$: Rapport «immersion – compression »
OMNIS	: Office des Mines National et des Industries Stratégiques
LNTPB	: Laboratoire National des Travaux Publics et du Bâtiment
LCPC	: Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
SETRA	: Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes
CEBTP	: Centre Expérimental des Bâtiments et des Travaux Publics
SPM	: Société des Pétroles de Madagascar
IFP	: Institut Français du Pétrole
ESPA	: Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo

INTRODUCTION

Bon nombre de recherches et d'études ont été déjà entreprises dans le cadre de l'exploitation du gisement de grès bitumineux de Bemolanga. Ces diverses recherches ont été dans la majeure partie des cas, orientées vers le domaine pétrolier. La présente étude que nous proposons de mener est plutôt axée dans le secteur routier. En effet, depuis 1996, le Ministère des Travaux Publics de Madagascar s'est particulièrement intéressé à ce matériau composé naturellement de bitume et de sable, dans le but de pouvoir l'utiliser de façon efficace pour nos routes.

Les bitumes utilisés actuellement sont des produits importés et d'un coût relativement cher (4 millions FMG/Tonne en 2001). La possibilité d'utilisation du grès bitumineux de Bemolanga en technique routière permettrait au pays, non seulement d'économiser des devises non négligeables, mais aussi de posséder un matériau valable pour la construction de pistes rurales ou des routes d'intérêts provinciaux.

En outre, l'exploitation de ce gisement permettrait de valoriser nos ressources locales et permettrait également de contribuer à la lutte contre la pauvreté par la création de nouveaux emplois en essayant d'intégrer la technique HIMO (Haute Intensité de Mains d'Oeuvres), dans le processus d'exploitation et de mise en œuvre du matériau.

C'est dans cette optique que nous avons décidé d'entreprendre cette étude qui s'intitule :

***“EXPERIMENTATION EN LABORATOIRE SUR
L'UTILISATION ROUTIERE DU GRES BITUMINEUX DE
BEMOLANGA”.***

L'objectif principal de ce travail vise à déterminer les conditions optimales de l'emploi de ce matériau dans le secteur routier.

Pour ce faire, nous avons d'abord entrepris une visite de reconnaissance du gisement et de son environnement. Par la suite, nous avons réalisé un échantillonnage sur différents sites afin de disposer d'un nombre d'échantillon plus représentatif. Et enfin, selon un programme bien défini, nous avons procédé à des séries d'essai au Laboratoire National des Travaux Publics et du Bâtiment (LNTPB).

L'étude en laboratoire a porté d'une part, sur le matériau à l'état naturel sans aucun apport (1^{ère} phase) et d'autre part, sur le matériau élaboré avec apport d'autres constituants tels que : les gravillons, le bitume (2^e phase).

Dans la première phase nous avons examiné l'influence de la teneur en liant et de la température de chauffe sur le comportement mécanique du grès bitumineux de Bemolanga.

Tandis que pour la deuxième phase, notre étude s'est concentrée sur l'influence des paramètres suivants : la nature des gravillons d'apport, la formulation (pourcentage des gravillons).

Nous avons également étudié l'effet d'un ajout de bitume pur et de dope sur le mélange.

Compte tenu de ces remarques, la présente étude comporte 4 chapitres :

- Le premier chapitre rappelle un certain nombre d'informations sur le gisement de Bemolanga (historique, situation géographique, géologie, réserve) ainsi que sur les matériaux traités au bitume en revêtement routier.
- Le deuxième chapitre présente la visite de reconnaissance du gisement en particulier, des 3 sites principaux qui ont fait l'objet de prélèvement.
- Le troisième chapitre expose la méthodologie adoptée pour mener l'investigation.
- Le dernier chapitre constitue les résultats obtenus, les interprétations et les commentaires ainsi que les conclusions.

Nous terminons notre étude par une conclusion générale.

1^{ER} CHAPITRE :

GENERALITES

I. GISEMENT DE BEMOLANGA [1, 2, 3]

1. Historique

L'existence du grès bitumineux de Bemolanga a été connue depuis longtemps. La population environnante du gisement a utilisé ce matériau dans divers domaines (combustibles, rebouchage de toiture ...). Les premières prospections et études techniques du gisement ont été réalisées par divers organismes (service géologique, Société des Pétroles de Madagascar, OMNIS depuis 1900).

Dès 1925, le service des mines mena des travaux préliminaires et mit en évidence l'existence d'un énorme gisement.

En 1953, la Société des Pétroles de Madagascar (SPM) avec l'aide de l'Institut Français du Pétrole (IFP) commencèrent à réaliser des sondages dans la partie Nord du gisement ayant pour but de reconnaître l'importance des niveaux stériles superficiels et de la teneur en bitume du grès bitumineux de Bemolanga. Une centaine de trous ont été effectués mécaniquement totalisant 1 948 mètres de forage.

En 1959, quatre sondages poursuivis jusqu'au socle cristallin ont été exécutés. Les sondages ont permis de dessiner le profil du gisement et de reconnaître l'ensemble des couches imbibées.

En 1959 également, une carrière a été ouverte sur la rive gauche de la rivière Mitsiotaka.

Les travaux de reconnaissance détaillés des affleurements bitumineux et des zones d'intérêt ont été effectués par une équipe dirigée par J. Boury puis par J. Baner en 1961. Les travaux ont mis en évidence l'importance du gisement d'hydrocarbure.

2. Situation géographique [1]

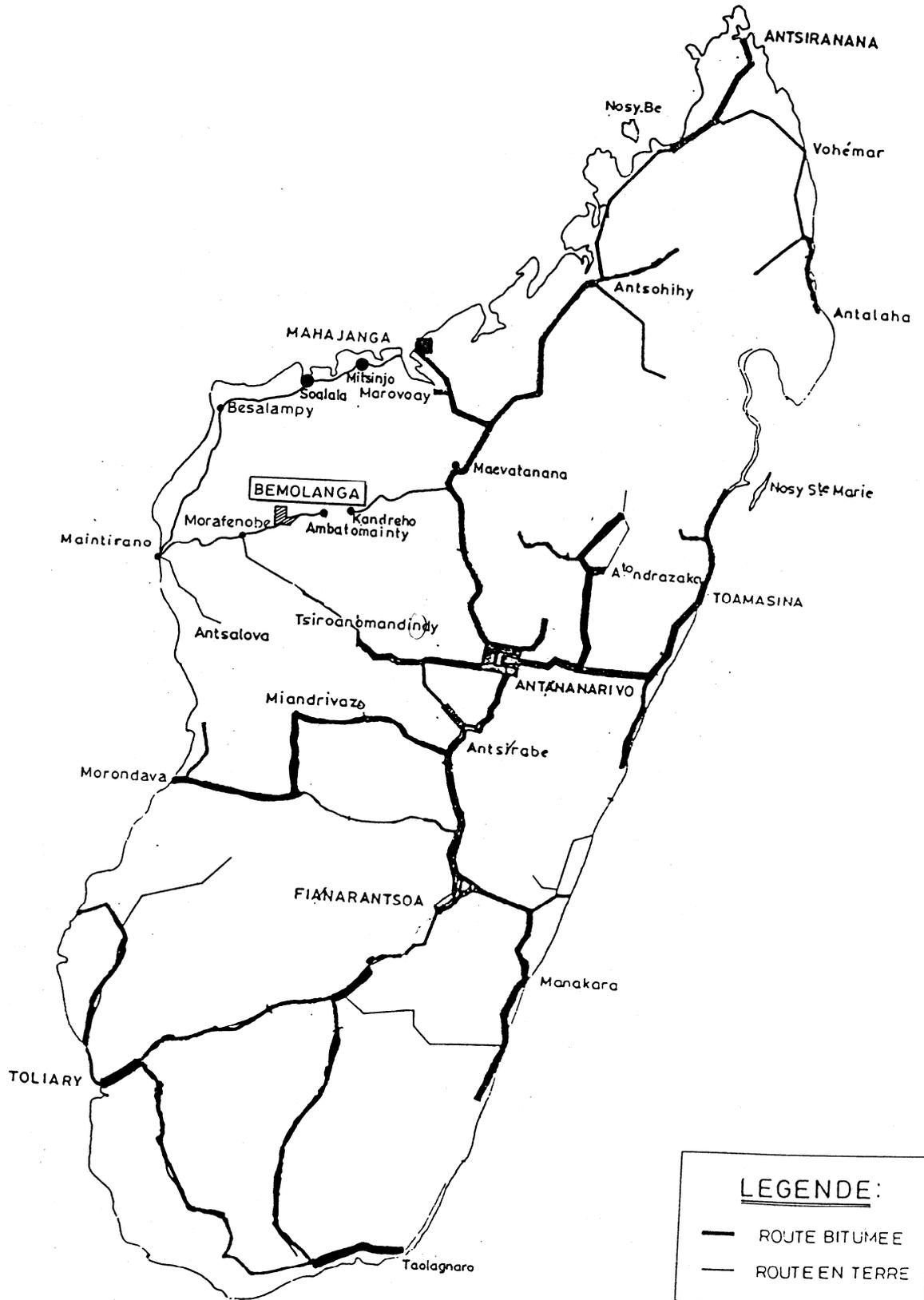
Le gisement du grès bitumineux de Bemolanga se situe dans le centre ouest de Madagascar, plus précisément dans la région de Morafenobe dans le Faritany de Mahajanga. Il est distant d'environ 550 km d'Antananarivo et de 35 km de Morafenobe.

Sa position géographique est de :

- Latitude Sud entre 17°37' et 17°52'
- Longitude Est entre 45° et 45°16'

Et en coordonnées Laborde :

- X entre 240 et 280
- Y entre 910 et 940



Situation géographique du gisement de Bemolanga

3. Géomorphologie du Nord du bassin de Morondava [3]

Le gisement de Bemolanga se trouve au Nord du bassin sédimentaire de Morondava. Cette région présente un relief aplati très monotone constitué par de vastes plateaux.

Sur ce vaste étendu de plateaux émerge des dômes caractérisés par des petites collines rongées par des ravinelements dans les couches d'Isalo.

Le grès et les calcaires sont souvent découpés par des strates plus ou moins raides.

Cette morphologie du relief est le résultat des phénomènes ci-après :

- dépôt d'une couche monoclinale de sédiments ;
- faible pendage des couches ;
- mouvement des terrains suite à l'apparition des systèmes de failles.

4. Aperçu géologique [1, 3]

La région au Nord du bassin sédimentaire de Morondava est formée par une succession de dépôts continentaux et marins.

Les formations imprégnées par le bitume sont des sédiments de l'Isalo du Jurassique inférieur (Lias) du système Karoo.

La formation des hydrocarbures provient de la transformation des phytoplanctons au cours de la sédimentation. L'inexistence de la structure piège a entraîné la migration des hydrocarbures en surface, d'où la mise en affleurement du grès bitumineux de Bemolanga ou des suintements du bitume.

La succession générale des couches sédimentaires est représentée par la coupe type ci-après (Fig.2)

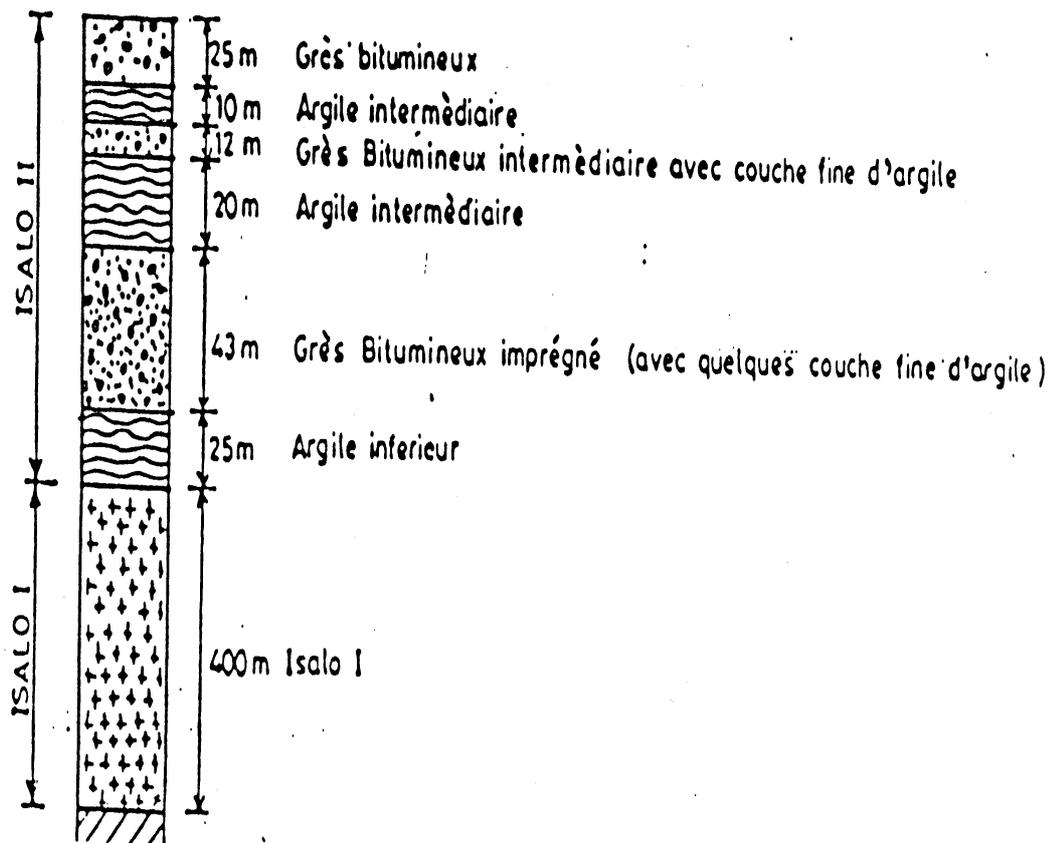


Figure n°1 : Succession des couches sédimentaires

Les affleurements de grès bitumineux de Bemolanga sont surtout visibles en profondeur après une érosion de la couche supérieure par les eaux de pluie. Ces affleurements ont des dimensions très variables du métrique à l'hectométrique.

La région de Bemolanga a subi une activité volcanique du crétacé qui a donné beaucoup de dyke de dolomite (roche magmatique de forme allongée recoupant les roches existantes). Les dykes sont visibles en surface sous forme de blocs décimétriques éparpillés sur de large zone. On rencontre aussi des dykes altérés donnant les matériaux argileux très plastiques.

5. Réserves [2]

Le gisement estimé recouvre en totalité une surface d'environ de 420 km². En fonction des indices de surface (suintement de bitume, aspect visuel du grès bitumineux de Bemolanga ...) et des divers forages d'investigation réalisés auparavant, le gisement est subdivisé en plusieurs zones d'intérêts allant de la zone I à la zone XI (voir carte figure 3).

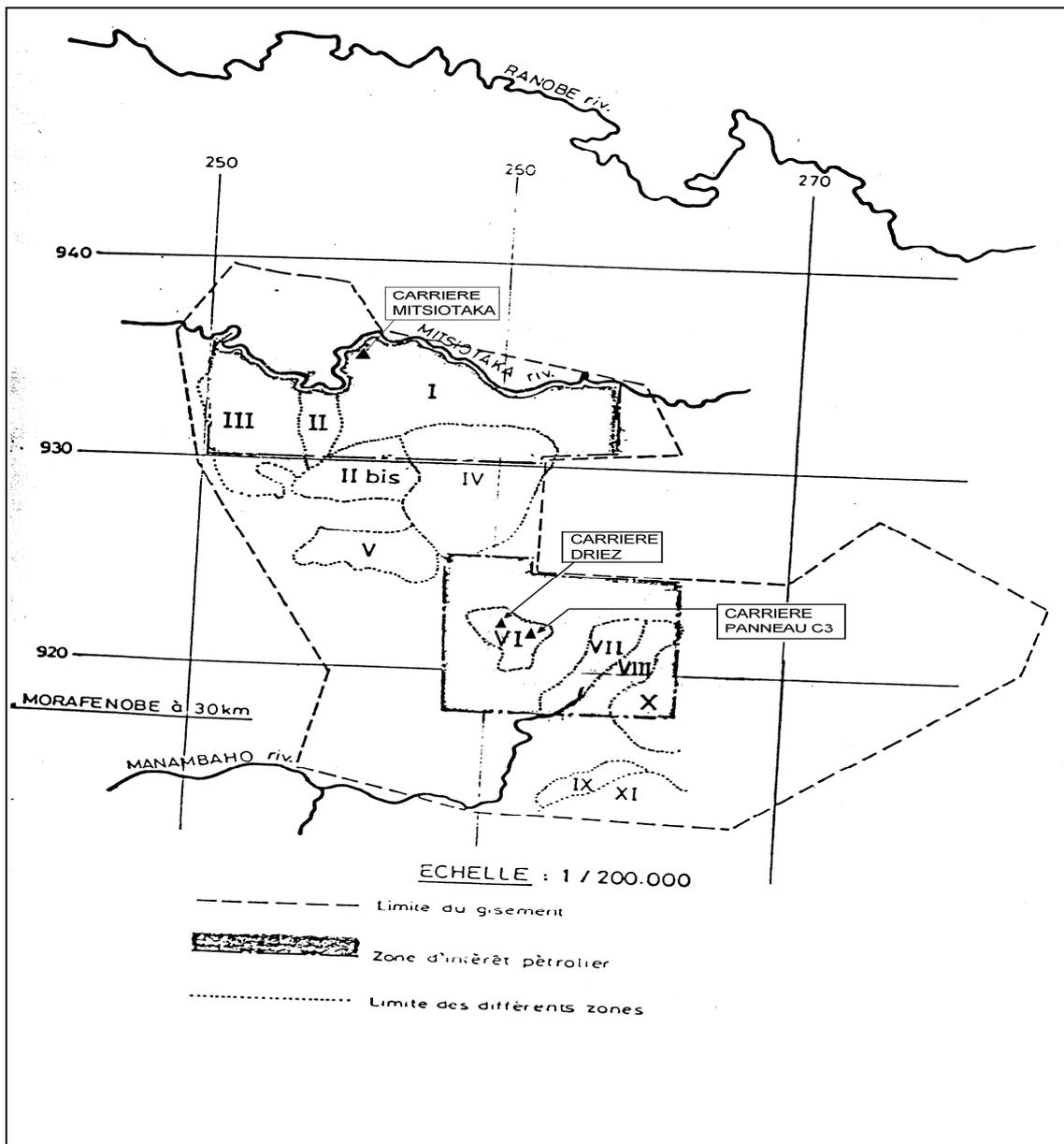


Figure n°2 : Répartition en bloc du gisement de Bemolanga
Emplacement des carrières de prélèvement

Le gisement a été réparti en deux concessions :

- concession à forte teneur en bitume : zone I, II, III et zones VI, VII, VIII, X d'une superficie de 120 km² environ avec une teneur en bitume de 5 à 12% ;

- concession à faible teneur en bitume d'une superficie d'environ 300 km² et dont la teneur moyenne en bitume est de 2 à 5 % pouvant atteindre parfois les 8 %. Cette zone se trouve dans la partie centrale Sud du gisement comprenant les zones II bis, V, IV, et XI et une portion des zones X et III.

L'ensemble du gisement est recouvert d'une couche stérile constituée principalement de carapace argilo-sableuse ou d'argile d'épaisseur variable et selon les données existantes, cette couche peut atteindre jusqu'à 15 mètres.

Au-dessous de cette carapace se trouve la couche imprégnée de bitume d'épaisseur également variable et ne dépassant pas en général une vingtaine de mètres.

La réserve en place sur une superficie de 420 km² peut être estimée à 3 milliards de Tonnes de grès bitumineux de Bemolanga

II. CARACTERISTIQUES PHYSICO-CIMIQUES ET MINERALOGIQUE DU GRES BITUMINEUX DE BEMOLANGA [2, 3]

Les analyses physico-chimiques et minéralogiques des constituants du grès bitumineux de Bemolanga ont manifesté les caractéristiques moyennes suivantes.

1. Le résidu minéral (le grès)

1-1. Analyse chimique

SiO ₂	: 81,90 %
Al ₂ O ₃	: 10,2 %
Fe ₂ O ₃	: 1,4 %
CaO	: 3,3 %
MgO	: 1,0 %
SO ₃	: 0,5 %
Non Déterminé	: 1,7 %

1-2. Analyse minéralogique

Quartz	:	58,4 %
Feldspath	:	28,0 %
Kaolinite	:	9,1 %
Chlorite	:	2,8 %
Montmorillonite	:	1,7 %

2. Le liant (bitume)

2-1. Analyse physique

Densité	:	0,99 à 1,10
Viscosité cinématique à 70°C	:	9,735 cst
Point de ramollissement	:	38°C à 45°C
Point d'inflammabilité	:	190°C à 258°C
Solubilité dans le sulfure de carbone	:	6,0 à 7,4 %

2-2. Analyse chimique

Carbone	:	87,10 %
Hydrogène	:	11,18 %
Azote	:	0,71 %
Oxygène	:	1,19 %
Soufre	:	0,51 %

2-3. Analyse par fractionnement des hydrocarbures

Hydrocarbures saturés	:	28,8 %
Hydrocarbures aromatiques	:	13,2 %
Résines	:	42,0 %
Asphaltes	:	16,0 %

III. LES MATERIAUX TRAITES AU BITUME EN REVETEMENT ROUTIER [4, 5, 6, 7, 8]

Une route est constituée de plusieurs parties (accotement, talus, fossés etc...) dont la principale est la chaussée. C'est la partie devant recevoir la circulation des véhicules. D'une manière générale, la chaussée est composée successivement de trois couches de bas en haut : la couche de fondation, la couche de base et la couche de roulement ou le revêtement.

Les matériaux traités au bitume sont surtout utilisés en couche de roulement qui devra assurer trois fonctions fondamentales :

- protection des assises de chaussée contre l'eau ;
- contribution à la résistance structurelle de la chaussée ;
- assurance à la sécurité et au confort.

En technique routière, il existe plusieurs méthodes de réalisation de la couche de roulement utilisant les matériaux à base de bitume :

- les enduits superficiels ;
- les sand-asphalts (ou sable bitume) ;
- les enrobés denses à chaud.

3-1. Les enduits superficiels [9]

Un enduit superficiel est une couche constituée par un film de bitume (répandu sur la surface à revêtir) sur lequel on étale une couche de granulats. Suivant le nombre de couches réalisées : un, deux, trois on a l'enduit superficiel monocouche, ou l'enduit bicouche, ou tricouche.

La technique des enduits superficiels est utilisée en revêtement des chaussées appelées à supporter un trafic léger ou modéré, ne dépassant pas le millier de véhicules par jour.

3-2. Les sand-asphalts (sable-bitume) [10]

Ce sont des mélanges réalisés à chaud, constitués de sables propres et de bitume pur.

Les sand-asphalts sont réservés aux classes de trafic faible ou modéré. Ils concernent les routes rurales traditionnelles.

Performance

Le Sand-asphalt devra présenter dans l'étude de laboratoire les performances suivantes :

1. Essai Marshall

Stabilité Marshall : ≥ 300 kg

Fluage Marshall : ≤ 5 mm

Compacité Marshall : ≥ 87 %

2. Essai Duriez

Résistance à la compression (à l'air) : $R_c \geq 20$ bars

Rapport Immersion/Compression : $R'_c/R_c \geq 0,70$

Compacité Duriez : $CD \geq 85$ %

3-3. Les enrobés denses à chaud (EDC) [11]

Les enrobés denses à chaud sont des mélanges de gravillons, de sables, de bitume avec éventuellement des additifs, dosés, chauffés et malaxés en centrale.

Les mélanges comportent 5 à 7 % de bitume.

Ces matériaux à faible pourcentage de vides conviennent à toutes les intensités de trafic rencontrées dans la pratique.

En tenant compte des différents paramètres de dimensionnement (durée de vie, trafic etc...). On peut envisager la réalisation d'un tapis d'enrobé d'épaisseur comprise entre 2,5 à 8 cm. A Madagascar, habituellement cette épaisseur est de 2,5 cm pour les routes nationales.

Performances

Les performances exigées pour ce type de matériaux sont les suivantes :

1. Essai Marshall

Stabilité Marshall : ≥ 900 kg

Fluage Marshall : ≤ 4 mm

Compacité Marshall : $92 \% \leq CM \leq 96 \%$

2. Essai Duriez

Résistance à la compression (à l'air) : $R_c \geq 50$ bars

Rapport Immersion/Compression : $R'_c/R_c \geq 0,75$

Compacité Duriez : $CD \geq 91 \%$

3-4. Les essais de laboratoire [5, 12, 14]

Comme la présente étude est plutôt orientée sur les deux dernières techniques mentionnées plus hautes (sand-asphalt et enrobé dense à chaud), nous allons présenter les différents essais en laboratoire habituellement utilisés à Madagascar (au LNTPB) pour caractériser ces types de matériaux.

Ces différents essais concernent :

Les essais d'extraction par l'appareil KUMAGAWA

Teneur en liant du mélange

Granulométrie du squelette minéral (gravier et sable)

Les essais mécaniques

Essais Marshall

Essais Duriez

341. Essais d'extraction par l'appareil Kumagawa

L'essai consiste à séparer le bitume et les granulats d'un mélange à l'aide de l'appareil de distillation Kumagawa utilisant comme solvant le toluène ou le

trichloréthylène. La séparation de ces constituants permet de déterminer la teneur en liant et de faire l'analyse granulométrique des granulats désenrobés.

3411. Détermination de la teneur en liant

Le bitume contenu dans l'échantillon est extrait par distillation à chaud à l'aide d'un solvant organique. Le poids du liant est obtenu par la différence entre le poids initial de l'échantillon et le poids de granulats désenrobés.

Si P_1 est le poids de l'échantillon et P_2 celui des granulats désenrobés après étuvage. La teneur en liant est :

$$\% L = \frac{P_1 - P_2}{P_2} \times 100$$

3412. Analyse granulométrique du squelette minéral

Cet essai a pour but de déterminer les proportions de grains de différentes tailles.

L'essai consiste à fractionner à l'aide d'une série de tamis un échantillon de granulats. Les éléments retenus par chaque tamis s'appellent " *refus* " et ceux qui passent à travers le tamis s'appellent " *tamisé* ".

Les résultats sont exprimés sous forme d'une courbe appelée " *Courbe granulométrique* " qui donne le pourcentage cumulé d'éléments de dimension inférieure à chaque diamètre du tamis.

342. Essais mécaniques

3421. Essais MARSHALL

- Objet

L'essai Marshall a pour objet de déterminer les caractéristiques Marshall suivantes :

- la densité apparente ;
- le poids spécifique ;
- la compacité ;
- la stabilité ;
- le fluage.

Ces caractéristiques permettent de tirer des renseignements généraux sur les niveaux de performance d'un mélange bitumeux. L'essai Marshall a pour but de fournir un seuil minimum de stabilité et de compacité.

- Epreuve d'essai

L'éprouvette est confectionnée dans un moule cylindrique de 101,6 mm de diamètre ayant une hauteur de 63,5 mm. Le compactage de l'éprouvette est effectué à l'aide d'une dame de compactage normalisée avec 50 coups par face.

- Détermination de la densité apparente (γ)

La densité apparente d'une éprouvette est le rapport de son poids total P_0 à son volume total V_0 (contenant des vides). Le volume V_0 de cette éprouvette est déterminé par la méthode de la balance hydrostatique.

- Détermination du poids spécifique (γ_s)

Elle est réalisée à l'aide d'un pycnomètre.

C'est le rapport du poids P de granulats enrobés de bitume au volume V (absolu) occupé par ces particules.

- Compacité Marshall

Elle se détermine par le rapport

$$CM = \frac{\gamma}{\gamma_s} \times 100$$

- Stabilité Marshall

L'essai de stabilité Marshall a pour but de déterminer, pour un compactage donné, la stabilité et le fluage d'une éprouvette de dimension déterminée.

La stabilité Marshall est la valeur de la charge maximale obtenue par un essai de compression exercé suivant une génératrice d'une éprouvette préalablement compactée. L'affaissement de cette même éprouvette au moment de la rupture par compression s'appelle " *Fluage Marshall* ".

3422. Essai DURIEZ

Cet essai consiste notamment à la détermination de la tenue à l'eau du mélange résistance au désenrobage d'une part et d'autre part, de fournir les repères de résistances mécaniques (compression simple).

- *Objet*

L'essai Duriez a pour objet de déterminer les caractéristiques suivantes, dénommées caractéristiques Duriez:

- la densité apparente ;
- le poids spécifique ;
- la compacité ;
- la résistance à la compression après 7 jours à l'air à 18°C ;
- la résistance à la compression après 7 jours immergé dans l'eau à 18°C ;
- le rapport "Immersion/Compression".

- *Eprouvette d'essai*

L'éprouvette est confectionnée dans un moule de 80 mm de diamètre et de 95 mm de hauteur, puis soumise à une pression de compactage de 60 kN pendant 5 minutes sur une presse manuelle équipée d'un anneau dynamométrique.

- *Densité apparente*

La densité apparente d'une éprouvette Duriez se détermine par le rapport de son poids total à son volume. L'éprouvette est préalablement paraffinée et le volume est déterminé par la méthode de la balance hydrostatique.

- *Poids spécifiques (γ_s)*

Il se détermine à l'aide d'un pycnomètre.

- *Compacité Duriez (CD)*

La compacité Duriez est le rapport de la densité apparente au poids spécifique.

$$CD = \frac{\gamma}{\gamma_s} \times 100$$

- Rapport Immersion/Compression

Le rapport Immersion/Compression est le rapport de la résistance à la compression après 7 jours d'immersion dans l'eau, à 18°C de l'éprouvette (R'_C) à la résistance après 7 jours de conservation à l'air à 18°C (R_C).

$$\rho = \frac{R'_C}{R_C}$$

Ce rapport traduit la tenue à l'eau de l'échantillon.

2^E CHAPITRE :
VISITE DE RECONNAISSANCE
DU GISEMENT ET
ECHANTILLONNAGE

1. Accès au gisement

L'accès à ce gisement à partir d'Antananarivo peut se faire soit à partir de la route nationale 4 (via Maevatanana, passant par Kandreo) ou soit à partir de la nationale 1 (via Morafenobe, passant par Tsiroanomandidy).

A partir de Mahajanga on peut également avoir accès au gisement en prenant la route d'intérêt provincial (RIP 112) qui passe par Mitsinjo, Soalala, Besalampy, Maintirano puis Morafenobe.

Le port de Maintirano est à 200 km du gisement. La route reliant la ville portuaire à Bemolanga est constituée d'une piste praticable seulement en saison sèche.

Lors de notre déplacement pour la reconnaissance du gisement, nous avons emprunté la RN1, où la route est bitumée jusqu'à Tsiroanomandidy ; ensuite il faut prendre des pistes en terre dégradée et présentant souvent des accès difficiles jusqu'à Morafenobe. Le gisement de Bemolanga est localisé à 35 km de cette ville en prenant la piste d'Ambatomainty.

D'une manière générale, l'on peut dire que la route entre Tsiroanomandidy et Bemolanga est une route d'accès très difficile même en voiture 4 x 4.

Les principales difficultés relevées durant notre passage concernent :

- La descente de Maromahikely, située à 10 km du village de Beravina où l'on note l'existence d'une descente à forte pente sur 3 Km avec des dégradations très prononcées (ravinelements et érosions importants de la route).
- Les passages à gué au droits des ponts en Beton Armé entre Beravina et Morafenobe où les remblais d'accès n'existent plus.
- La traversée de la rivière de Manambaho à la sortie de Morafenobe ; en période d'étiage le passage à gué est faisable car le niveau d'eau est d'environ 0,70 mètre. Cependant, en période de crue, l'eau peut monter jusqu'à 7 mètres selon les renseignements recueillis sur place.
- La montée en très forte pente de Tsimanajavazaha qui se situe à une dizaine de kilomètres de Morafenobe.

- L'accès qui mène aux différentes carrières dont les tracés ne sont plus visibles. L'ancienne piste étant complètement recouverte par la végétation constituée de vero et de satrana.

2. Description sommaire des carrières ayant fait l'objet de prélèvements

Trois sites ont fait l'objet de prélèvement. Ces sites concernent :

- la carrière DRIEZ ;
- la carrière au panneau C3 ;
- la carrière Mitsiotaka au Nord du gisement.

L'emplacement de ces carrières se trouve sur la carte de la figure 3

2-1. Carrière DRIEZ

Elle se trouve au Sud du gisement dans la zone VI (voir figure 3), à une dizaine de kilomètre de l'ancien campement de la Société Pétrolière de Madagascar (SPM) et de l'OMNIS en allant vers le village d'Ambararatabe.

Photo n°1 : Carrière Driez
Gros blocs lors des anciens abattages



Lors de notre reconnaissance, la carrière d'une surface de 4 000m² environ se présente sous forme de gradins à 3 étages (voir figure 4).

En moyenne, la hauteur des gradins est de 2 à 3mètres.

Le front de taille existant montre que la zone est constituée de haut en bas :

- d'une couche de 2 à 4 mètres de recouvrement stérile constitué d'argile sableux grisâtre.
- d'une couche de 0,3 à 0,5 mètre de carapace de grès.
- d'une couche de 7 à 8 mètres (hauteur visible) de grès imprégné de bitume.

Accès : L'ancien tracé menant à la carrière (\cong 10 km) a complètement disparu depuis le départ de l'OMNIS vers 1988. Un guide connaissant la région est indispensable afin de repérer l'ancien tracé. L'accès est praticable en voiture 4 x 4.

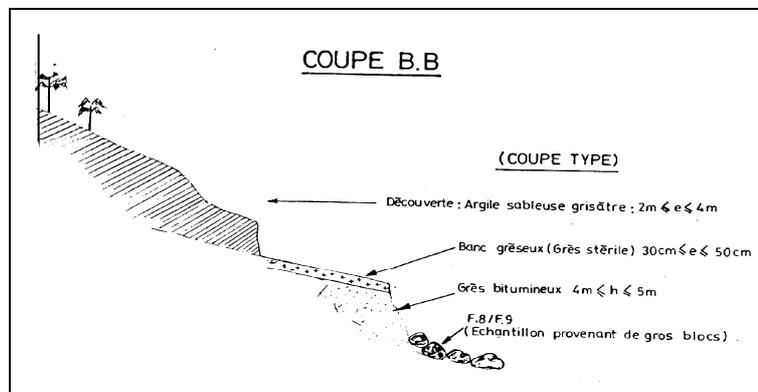
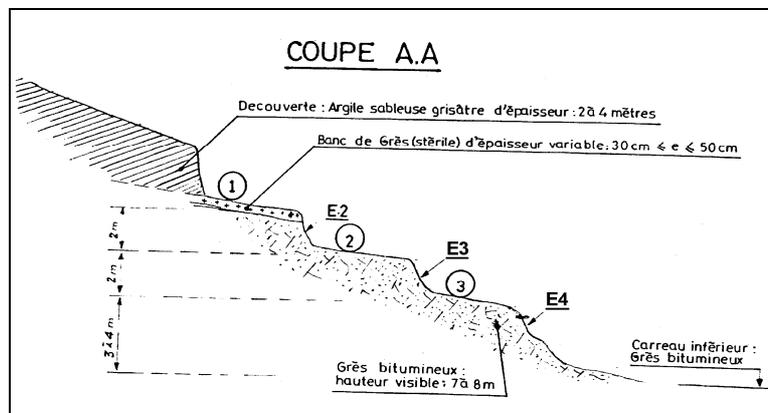
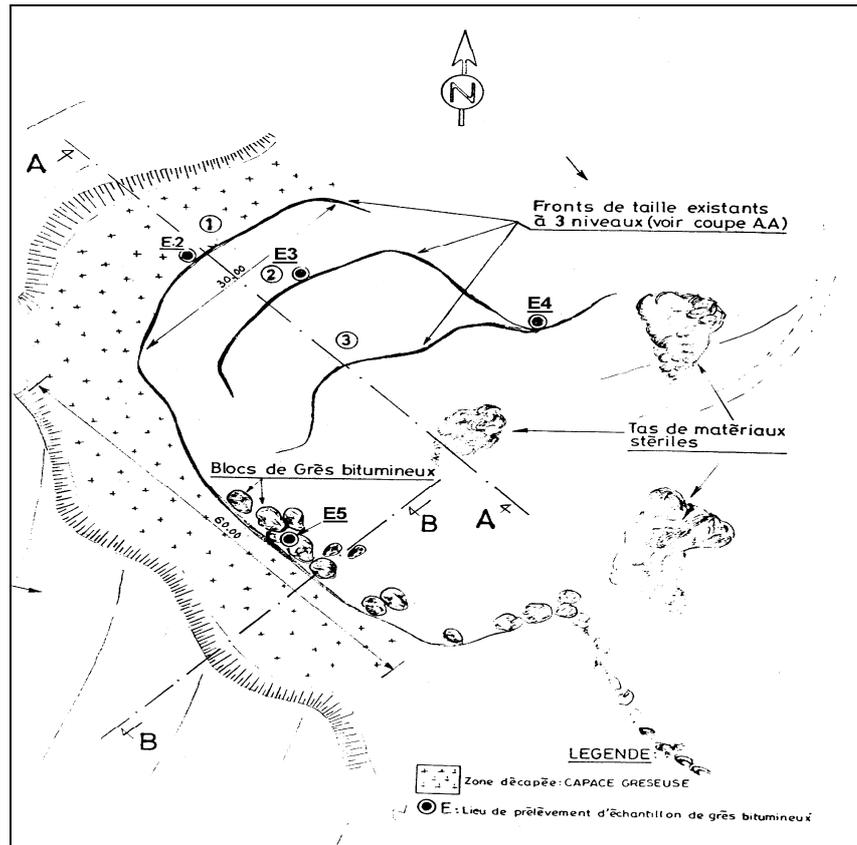


Figure n°3 : Schéma de la Carrière Driez

LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

2-2. Carrière au panneau C3

Elle est située également dans la zone VI à environ 1 km à l'Est de la carrière DRIEZ. Se trouvant au sommet d'une colline et où l'on observe un vaste affleurement de grès, la carrière se présente sous forme d'un trou de diamètre entre 8 et 10 mètres et dont la profondeur est de 0,8 mètre environ.

A l'extérieur du trou se trouvent quelques gros blocs de grès bitumeux de diamètre 1 à 2 mètres provenant des anciens abattages réalisés par l'OMNIS.

La coupe du terrain vue à partir du trou se présente comme suit de haut en bas :

- une couche de 0,30 à 0,50m de carapace de grès ;
- en dessous de cette carapace se trouve le grès bitumeux.

Des suintements de bitume fluide ont été remarqués (au nombre de 2) aux alentours de la carrière. Le bitume fluide sort à partir des fentes du grès. Son débit d'écoulement est très faible.

Accès : Il existe une piste d'exploitation faite par l'OMNIS mais elle est fortement endommagée et non praticable même en 4 x 4.

Le schéma de la carrière est présenté sur la figure 5.

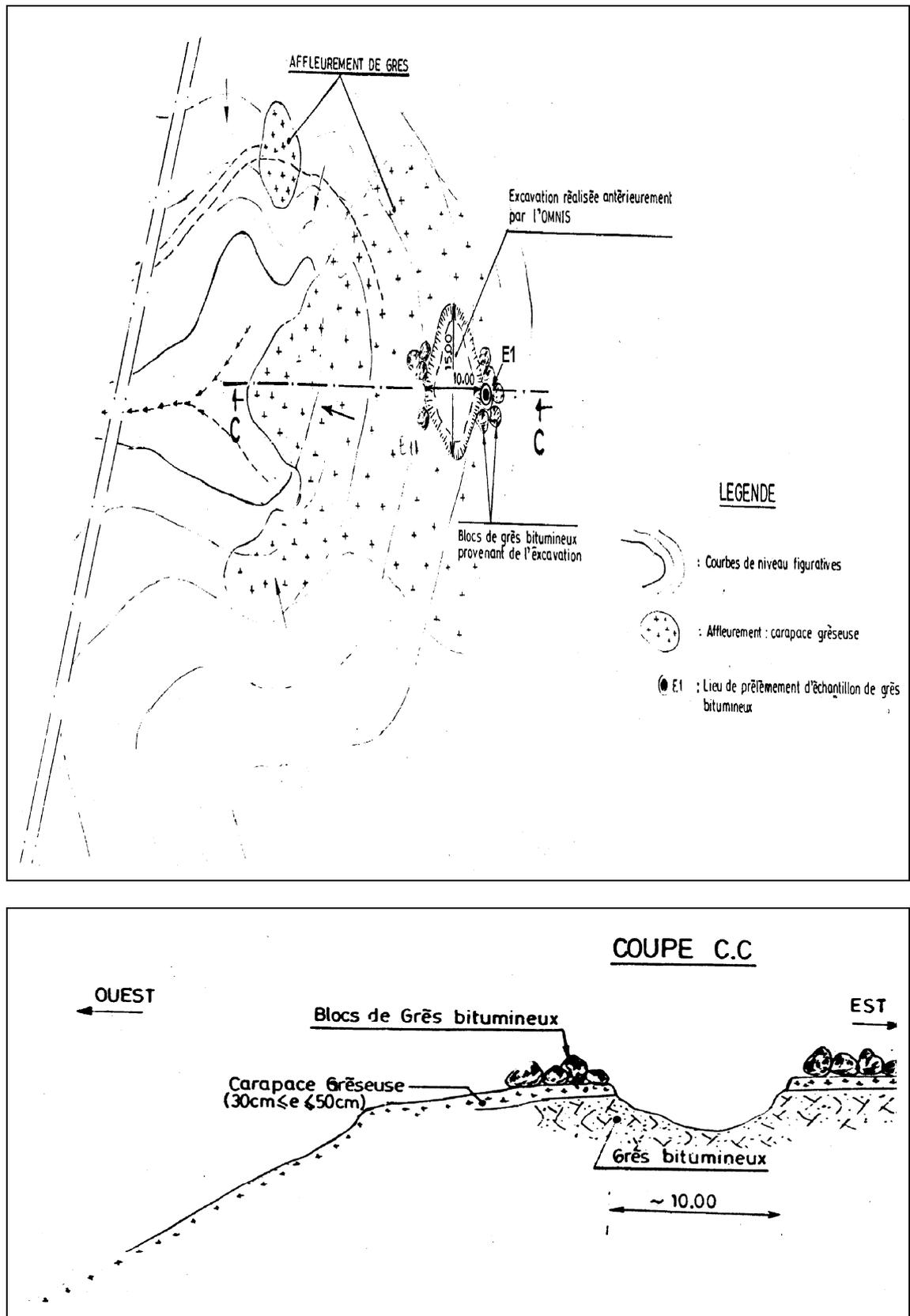


Figure n°4 : Schéma de la carrière au panneau C3

2-3. Carrière Mitsiotaka

Elle se situe au nord du gisement dans la zone I (figure 3). Elle est distante de 5 Km environ de l'ancienne unité pilote de la Société des Pétroles de Madagascar (SPM).

Cette carrière ouverte par l'OMNIS en 1980 se situe légèrement au-dessus du pied de la colline longeant la rivière Mitsiotaka (figure 6).

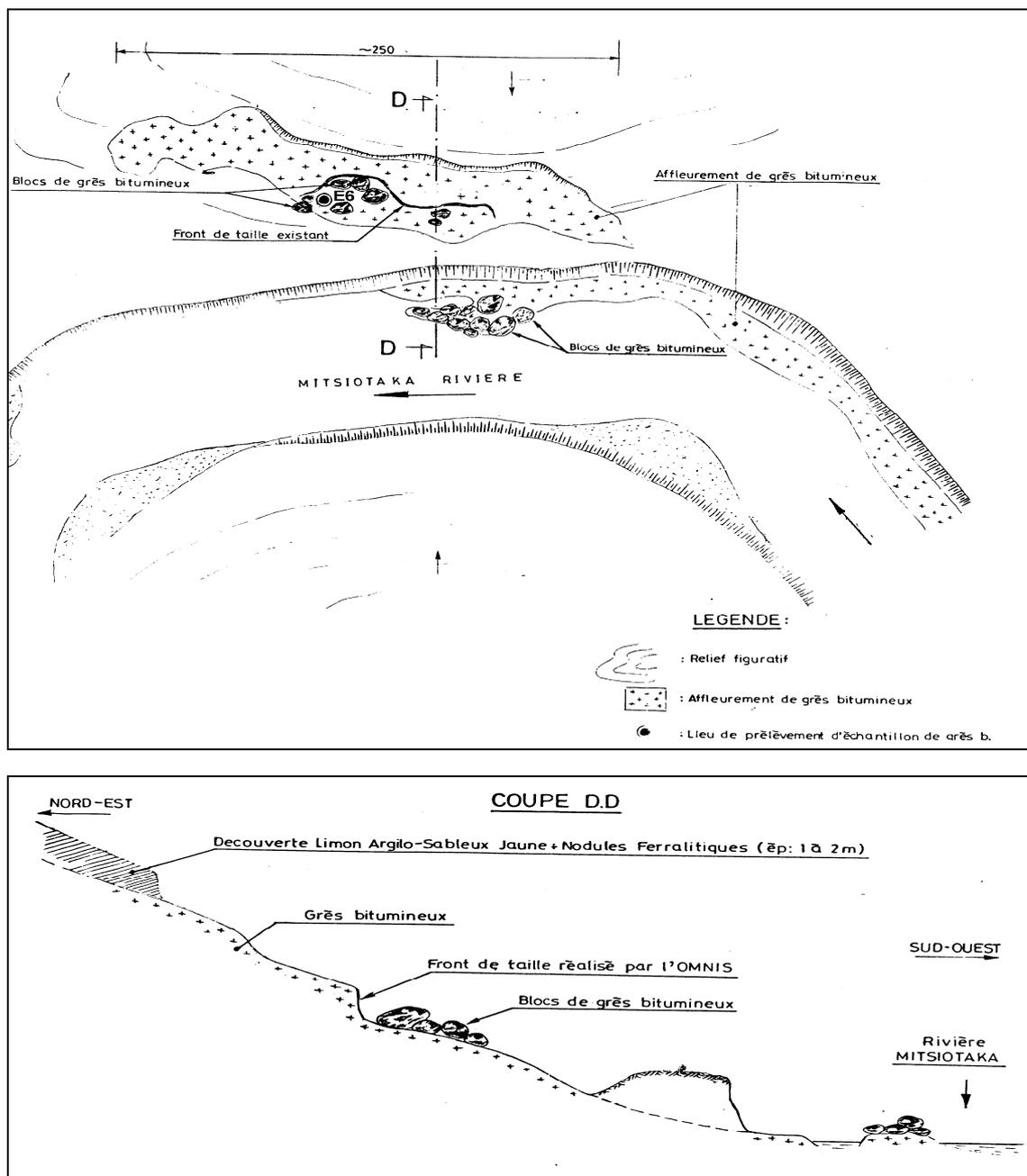


Figure n°5 : Schéma de la carrière Mitsiotaka

Des affleurements de grès bitumeux atteignant 150 mètres de long et 20 mètres de larges apparaissent après érosion des découvertes par cette rivière.

On a pu voir un front de taille réalisé auparavant, et la présence de reste de quelques gros blocs lors d'une exploitation.

La coupe du terrain est la suivante de haut en bas (voir figure 6):

- une couche de 1 à 2 mètres de recouvrement stérile formé d'un limon sableux jaunâtre avec quelques nodules ferrallitiques ;
- puis tout de suite après, on note la présence de la couche de grès bitumeux.

Des suintements de bitume ont été également observés aux alentours des sites avec un débit très faible.

Accès : L'ancienne piste d'exploitation n'est plus visible, elle est complètement recouverte de végétation (vero et satrana). Un guide est nécessaire, le site est accessible en voiture 4 x 4.

Photo n° 2 : Vue générale d'une partie du gisement
Végétation formée de Vero et de Satrana



3. Prélèvement d'échantillons

3-1. Mode de prélèvement

Dès le départ, il a été prévu 2 systèmes d'exploitation pour l'échantillonnage :

- voir la possibilité d'une exploitation manuelle ;
- exploitation par dynamitage.

La deuxième mode d'exploitation n'a pas pu être réalisée, faute de matériels adéquats. Nous avons donc procédé à l'exploitation manuelle du matériau à partir des matériels légers tels que : barre à mine, pique, masse, pioche, pelle. A noter que l'utilisation du marteau piqueur est inefficace à cause du réchauffement de la tige et le bitume chauffé fond puis bloque l'avancement du fleuret.

Bien que l'exploitation manuelle soit faisable, nous signalons quand même la difficulté de l'opération due d'une part, aux matériaux compacts et collants et d'autre part, aux conditions climatiques de la région soumise à une forte chaleur.

A titre indicatif, lors des prélèvements nous avons pu réaliser un rendement moyen de 200 Kg/ homme/ jour.

3-2. Prélèvements

Afin d'obtenir le maximum de renseignements possibles nous avons procédé à plusieurs prélèvements sur les 3 sites ayant fait l'objet de reconnaissance :

- Echantillon E1 prélevé à la carrière au panneau C3 (voir figure 5)
- Echantillon E2 prélevé à la carrière Driez, plate-forme supérieure(voir figure 4)
- Echantillon E3 prélevé à la carrière Driez, plate-forme intermédiaire
- Echantillon E4 prélevé à la carrière Driez, plate-forme inférieure
- Echantillon E5 prélevé à la carrière Driez, front de taille, côté sud.
- Echantillon E6 prélevé à la carrière Mitsiotaka (voir figure 6).

Soit un total de 6 prélèvements de 2 fûts chacun.

3^E CHAPITRE :
METHODOLOGIE
D'INVESTIGATION

1. Axe de recherche

L'objectif de cette étude consiste à examiner la faisabilité d'une utilisation dans le secteur routier du grès bitumeux de Bemolanga. Pour ce faire, des séries d'expérimentations en laboratoire ont été réalisées pour déterminer les conditions optimales d'utilisation de ce matériau.

Compte tenu de l'aspect du grès bitumeux de Bemolanga, constitué naturellement de sable et de bitume, notre étude fait référence à deux techniques habituellement utilisées dans le domaine routier :

- La technique du sand asphalt (sable-bitume) ;
- La technique de l'enrobé dense à chaud (mélange de sable, de bitume et de gravillons).

En fonction de ces remarques, cette étude a été conduite de la manière suivante :

- Dans un premier temps, il a été étudié le comportement mécanique intrinsèque du grès bitumineux de Bemolanga à l'état naturel sans ajout. Les paramètres d'études retenus sont les suivantes :

- la teneur en liant ;
- la température de chauffe ;

- Dans un second temps, une autre étude a été réalisée, en vue d'élaborer un enrobé à partir du mélange : grès bitumineux de Bemolanga et divers granulats.

Les paramètres d'études suivants ont été retenus :

- la nature des concassés d'apport (granite, calcaire, basalte) ;
- la formulation.

2. Choix des paramètres d'études

- La teneur en liant (bitume) : le liant joue un rôle important dans le mélange bitume- sable et/ou gravillons. Il permet de mettre en liaison les différentes particules ou grains. Cependant, un excès de liant dans le mélange conduit à un ramollissement et une augmentation du fluage de ce dernier par suite d'un ressuage. Ainsi, une teneur en liant optimale devrait être déterminée[14].

- La température de chauffe : comme la répartition en bitume du grès bitumineux de Bemolanga est assez hétérogène, nous estimons qu'en chauffant le mélange, avec un malaxage approprié, une répartition plus homogène du liant pourrait être obtenue ; entraînant ainsi une amélioration de l'adhésivité du couple liant granulats et par conséquent un accroissement du comportement mécanique.

La température de chauffe a été limitée à 200°C, car autour de cette température le bitume commence à se désagréger. En outre, plus on monte en température, plus la consommation en combustible augmente.

- La nature pétrographique des granulats peut agir sur le comportement des mélanges. En effet, l'adhésion mécanique qui est la résultante des forces qui lient le couple liant-granat peut varier selon l'affinité du granulat au liant [13].

- Pour un béton bitumineux, l'obtention des caractéristiques optimales passe par la détermination d'un pourcentage adéquat des divers constituants. La formulation est également un paramètre aussi important que ceux mentionnés plus haut.

3. Programme des essais

3-1. Etude du grès bitumeux de Bemolanga à l'état naturel

*** Influence de la teneur en liant**

A chaque échantillon de grès bitumeux à teneur en liant variant de 4 à 10%, il a été déterminé les caractéristiques Marshall et Duriez.

*** Influence de la température de chauffe**

Les échantillons de grès bitumeux dans leur état naturel ont été chauffés à une température allant jusqu'à 200°C, avec un pas de 50°C.

A chaque variation de température, il a été déterminé les caractéristiques Marshall et Duriez.

3-2. Etude du grès bitumeux de Bemolanga élaboré avec apport d'autres matériaux

*** Influence de la nature des gravillons d'apport**

Les trois types de roche couramment rencontrés et utilisés à Madagascar dans le domaine routier ont été utilisés :

- le granite se trouvant sur le haut plateau ;
- le calcaire à l'Ouest ;
- le basalte à l'Est.

Les caractéristiques Marshall et Duriez respectives des mélanges obtenus avec les différentes natures de gravillons ont été déterminées.

En ce qui concerne les granulats, des essais préalables de caractérisation ont été faits :

- Granulométrie ;
- Poids spécifique ;
- Détermination de la dureté par l'essai Los- Angeles (LA) et l'essai Micro-Deval (MDE).

* Influence de la formulation

Il a été déterminé la composition optimale des mélanges de grès bitumeux et des granulats.

Différentes formules ont été testées en tenant compte du pourcentage du grès bitumineux de Bemolanga dans le mélange ainsi que du fuseau granulométrique de référence de l'enrobé dense à chaud.

* Influence de l'ajout de bitume pur

Le mélange de grès bitumeux avec des granulats à été additionné de 1%, et de 2% de bitume routier 60/70.

* Influence de l'adjonction d'un dope

Un dope est un agent tensioactif qui dans certaines conditions, permet d'améliorer l'adhésivité (le contact) entre le liant et les gravillons. Ce produit est susceptible d'améliorer le comportement mécanique des mélanges bitumineux.

Dans notre étude nous avons essayé le POLYRAM L 200, dope disponible au laboratoire au moment des essais.

4. Algorithme de l'étude

L'algorithme suivant permet de visualiser les démarches que nous avons optées dans le cadre de cette étude (figure 7).

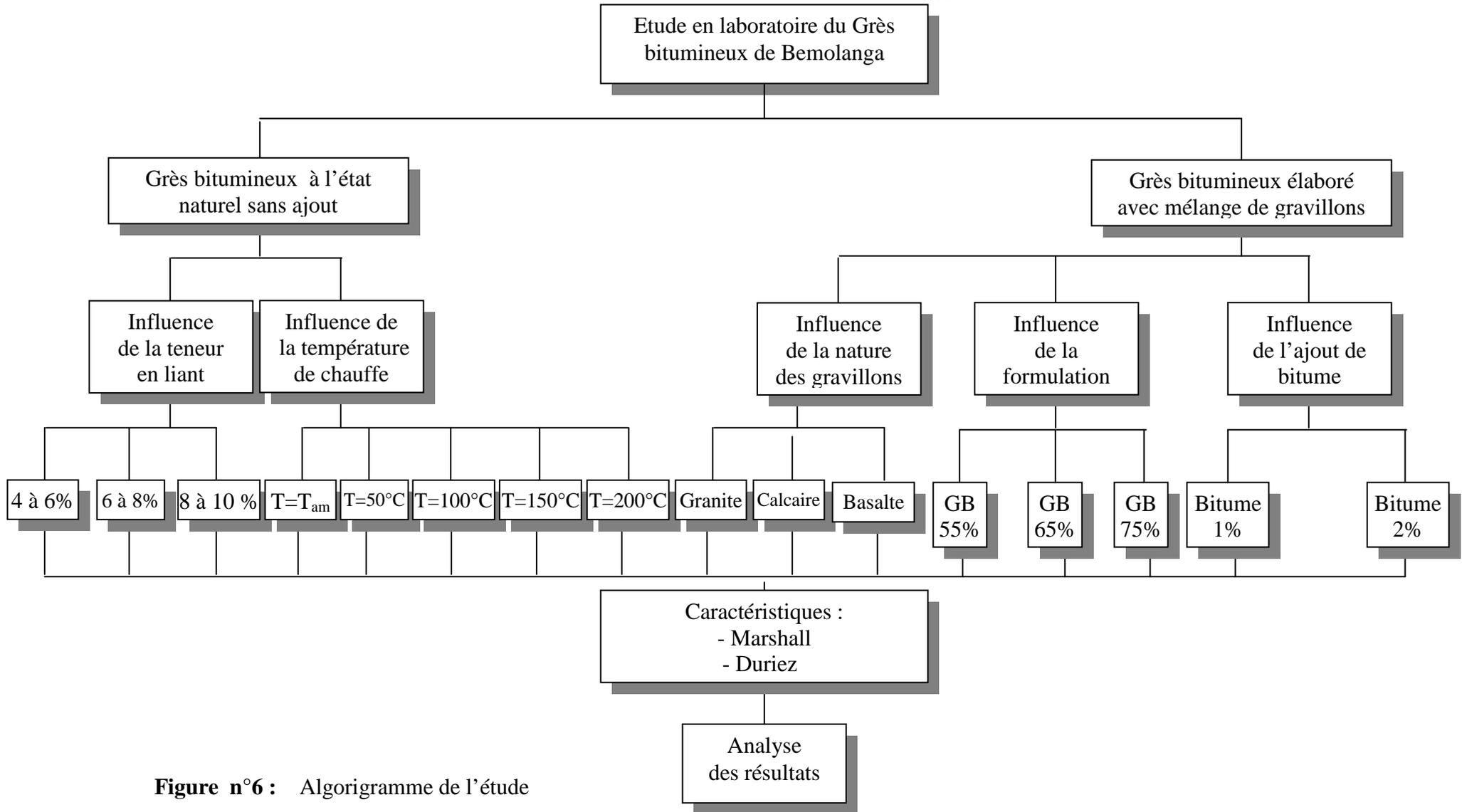


Figure n°6 : Algorithme de l'étude

4^E CHAPITRE :

RESULTATS

ET

INTERPRETATIONS

I- ESSAIS PREALABLES

1- Caractéristiques physiques des échantillons bruts

1-1. Résultats

Les caractéristiques physiques déterminées sont les densités apparentes “ γ ” et les poids spécifiques “ γ_s ”.

Les résultats obtenus sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau n°1 : Densité et poids spécifiques du grès bitumineux de Bemolanga

Echantillon	E1	E2	E3	E4	E5	E6
γ (T/m ³)	1,64	1,65	1,76	1,88	1,90	1,81
γ_s (T/m ³)	2,25	2,36	2,34	2,33	2,33	2,29
Compacité : $\gamma/\gamma_s \times 100$ (%)	73	70	75	81	77	79

1-2. Commentaires

- La densité apparente des échantillons varie de 1,64 à 1,90T/m³ alors que les poids spécifiques semblent être homogènes et tournent autour des valeurs 2,30 T/m³.
- A l'état naturel, les échantillons ont donc des compacités différentes. Par exemple, pour E2 la compacité est de 70% alors que pour E4 elle est de 81%.
- La répartition granulométrique du sable dans les échantillons sont différentes. Les sables ayant une granulométrie plus étalée (bien graduée) présentent des compacités plus élevées. Par contre, les sables de granulométrie serrée possèdent beaucoup plus de vides inter granulaires et donc une compacité médiocre.

Pour E2 (compacité 70%), la classe granulaire du sable est 0/2

Pour E4 (compacité 81%), la classe granulaire du sable est 0/5 (voir tableau 3)

2- Extraction du liant

2.1- Teneur en liant dans les échantillons

Les teneurs en liant (%L) obtenues à la suite des essais d'extraction des échantillons par la méthode Kumagawa sont données dans le tableau n° 2 suivant.

Tableau n°2 : Teneur en liant des échantillons de grès bitumineux de Bemolanga

Echantillon	E1	E2	E3	E4	E5	E6
Teneur en liant (%)	9,6	5,9	8,2	9,4	8,3	7,1

2.2- Granularité

Après extraction du liant, le résidu minéral constitué par du sable est soumis à une analyse granulométrique. Ci dessous les courbes granulométriques du résidu minéral.

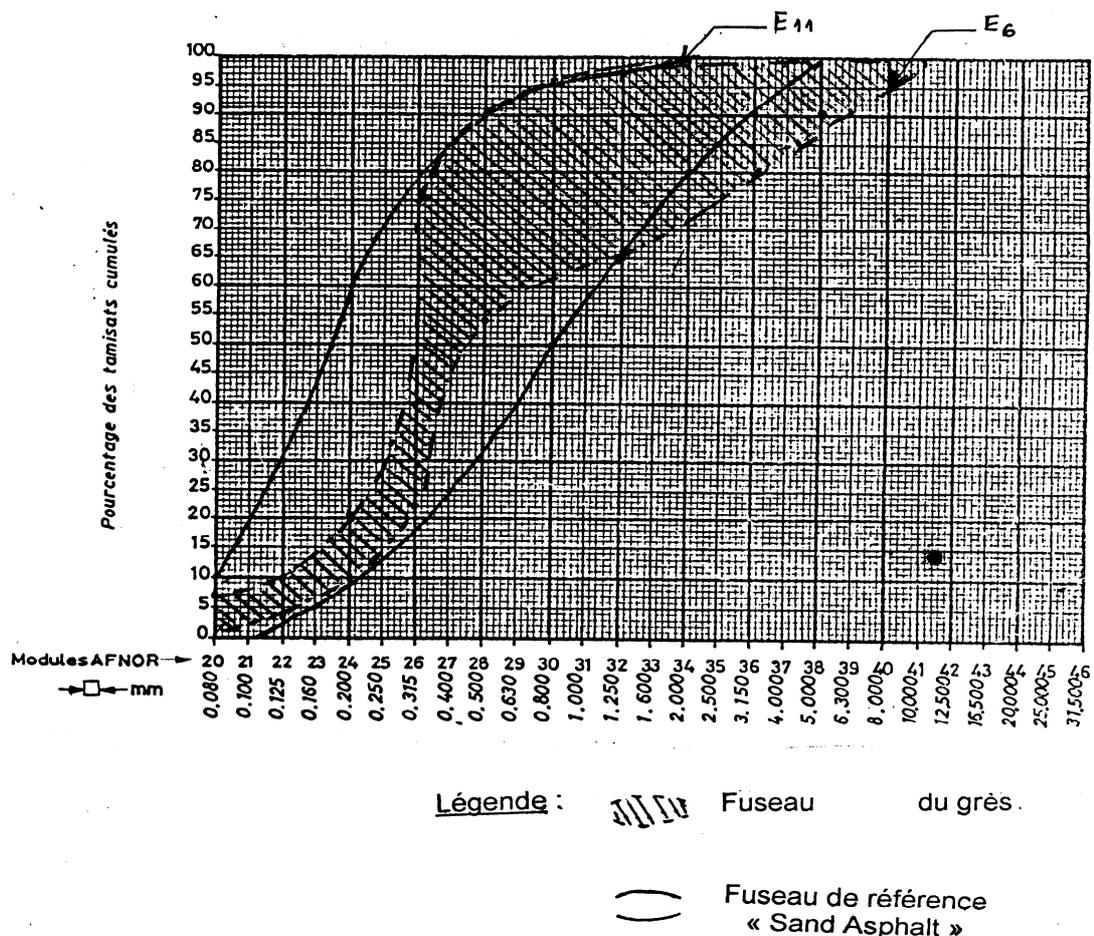


Figure n°7 : Courbe granulométrique du résidu minéral

Les caractéristiques liées à la granulométrie : classe granulaire, surface spécifique (Σ), coefficient d'uniformité (Cu), Coefficient de courbure (Cc) sont données dans le tableau n°3 ci-après.

La surface spécifique (Σ) est calculée à partir de la formule empirique suivante :

$$100 \Sigma = 0,17G + 0,32g + 2,30S + 12s + 13f \quad [15]$$

avec - G = pourcentage gros gravillons >10 mm

- g = pourcentage petits gravillons entre 5 et 10 mm

- S = pourcentage gros sable entre 0,3 et 5mm

- s = pourcentage sable fin entre 0,08 et 0,3 mm

- f = pourcentage de filler <0,08 mm

$$\text{* coefficient d'uniformité} \quad Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad [10]$$

$$\text{* coefficient de courbure} \quad Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} \quad [10]$$

avec D_{10} = diamètre correspondant à 10% de tamisat

D_{30} = diamètre correspondant à 30% de tamisat

D_{60} = diamètre correspondant à 60% de tamisat

Cu et Cc constituent des paramètres importants à la granularité. Pour le sand-asphalt les recommandations préconisent pour ces valeurs :

- Cu : compris entre 3,5 et 20

- Cc : compris entre 1 et 3

Tableau n°3 : Caractéristiques liées à la granulométrie des résidus minéraux

Echantillon	E1	E2	E3	E4	E5	E6
Caractéristiques liées à la granulométrie						
Classe granulaire	0/2	0/2	0/4	0/5	0/5	0/5
Surface spécifique (Σ)	11,27	12,26	12,66	9,7	10,29	12,63
Coefficient d'uniformité(Cu)	2,07	1,77	2,01	3,42	2,38	2,70
Coefficient de courbure(Cc)	1,58	0,83	1,01	2,11	1,41	1,04

2.3- Commentaires :

- Le pourcentage de liant dans les échantillons est très variable . Si l'on prend la carrière Driez, cette valeur varie de 5,9 à 9,4%

- Etage supérieur : % liant = 5,9%
- Etage intermédiaire : % liant = 8,2%
- Etage inférieur : % liant = 9,4%

Nous constatons que plus on monte en surface plus la teneur en bitume diminue.

- En ce qui concerne le squelette minéral, celui-ci est constitué d'un sable siliceux fin, de grains plus ou moins arrondis. Dans l'ensemble, les valeurs des coefficients Cu et Cc ($2,01 < Cu < 3,42$ / $0,83 < Cc < 1,61$) nous mettent en présence d'un sable mal gradué sauf pour E4 .

Néanmoins, on s'aperçoit que les courbes granulométriques des échantillons prélevés rentrent dans le fuseau granulométrique de référence pour un sand-asphalt (voir figure n° 8)

II- ETUDE DU GRES BITUMINEUX DE BEMOLANGA A L'ETAT NATUREL SANS AJOUT

1- Influence de la teneur en liant

Nous avons examiné le comportement mécanique du grès bitumineux de Bemolanga à différentes teneurs en liant à partir des échantillons prélevés sans aucun traitement. Le but de cet essai était de voir la possibilité d'exploiter directement le gisement et d'utiliser le matériau comme emprunt ou gîte. Nous avons pris comme essais de référence les essais Marshall et Duriez qui sont les essais habituellement utilisés à Madagascar, en ce qui concerne les bétons bitumineux.

A remarquer toutefois que certaines modifications ont été apportées sur les modes opératoires, surtout au niveau des températures (pas de chauffe préalable).

1.1- Résultats

Le tableau n°4 récapitule les caractéristiques Marshall et Duriez des échantillons prélevés ayant des teneurs en bitume différentes. Les effets de la teneur en liant sur les caractéristiques mécaniques sont représentés par les figures 9, 10, 11.

Tableau n°4 : Caractéristiques Marshall et Duriez en fonction de la teneur en bitume

Teneur en liant (échantillon)	6 (E2)	7 (E6)	8 (E3)	10 (E1)	Spécification sand-asphalt
Caractéristiques mécaniques					
<u>1. Marshall</u>					
Compacité (%)	75	75	77	79	≥ 87
Stabilité (kg)	47	60	64	65	≥ 300
Fluage (mm)	3,9	4,0	4,4	5,2	$\leq 5,0$
<u>2. Duriez</u>					
Compacité (%)	67	70	70	71	≥ 85
Rc (bars)	9,6	13,8	18,3	19,8	≥ 35
R'c (bars)	6,2	9,2	10,5	13,3	
$\rho = R'c/Rc$	0,64	0,67	0,57	0,67	$\geq 0,75$

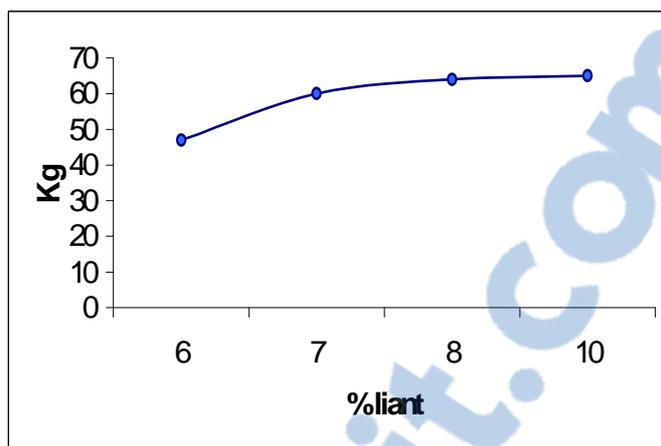


Figure n°8 : Stabilité Marshall en fonction de la teneur en liant

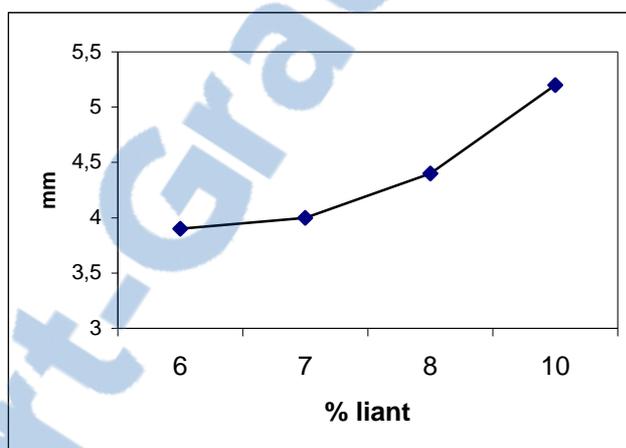


Figure n°9 : Fluage Marshall en fonction de la teneur en liant

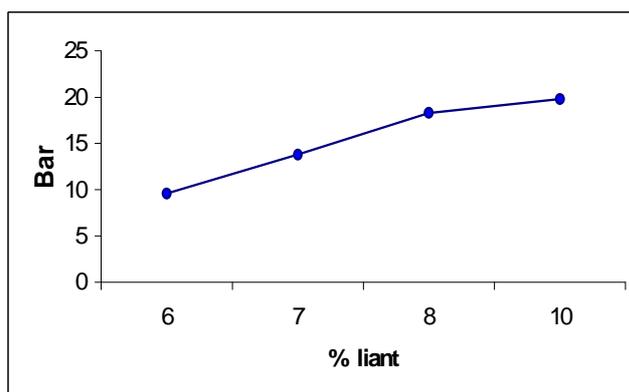


Figure n°10 : Résistance à la compression Duriez en fonction de la teneur en liant

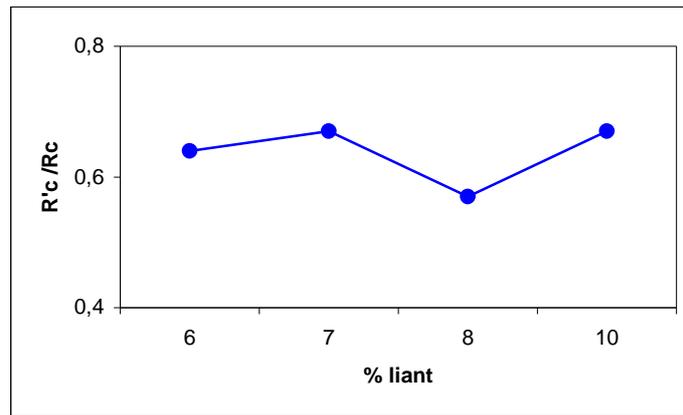


Figure n°11 : Rapport « immersion-compression » en fonction de la teneur en liant

1-2. Commentaires

- Les figures montrent que les caractéristiques mécaniques du grès bitumineux de Bemolanga augmentent en fonction de sa teneur en bitume. De 0 à 8% cette augmentation se fait rapidement et à partir de la valeur 8-9% on constate que la courbe commence à s'incurver pour vraisemblablement descendre. En effet, si on examine l'allure de la courbe fig.10. Le fluage augmente de façon exponentielle et à partir d'une teneur en liant de 10%, la valeur dépasse les 5mm, maximum toléré pour le sand-asphalt.

- Les échantillons de grès bitumineux de Bemolanga ayant une teneur en liant avoisinant les 9% possèdent les meilleures caractéristiques mécaniques.

Cette valeur est en concordance avec le sand-asphalt qui utilise en général un pourcentage de 7 à 9% de bitume.

Il est essentiel de noter qu'une augmentation de bitume en plus de la teneur optimale rendra le matériau mou.

- Le rapport « immersion - compression » $\rho = R'c / R_c$ reste pratiquement constant et n'évolue pas. Rappelons que ce rapport traduit la tenue à l'eau du matériau et met en évidence l'adhésivité entre le sable et le bitume.
- Concernant la compacité, si on se réfère aux spécifications du sand-asphalt, on note des valeurs assez faibles. Ceci peut s'expliquer d'une part, comme nous l'avons mentionné plus haut (paragraphe I-3) par une mauvaise répartition granulométrique du sable contenu dans le grès bitumineux de Bemolanga, et d'autre part, par l'insuffisance de fines $< 50\mu\text{m}$ (filler) dans les échantillons. On constate, tout de même une légère augmentation assez significative de la

compacité avec la teneur en bitume. Le pourcentage de vide étant diminué par l'insertion de bitume.

1-3. Comparaison avec le sand-asphalt

Les valeurs obtenues des essais Marshall et Duriez montrent que le grès bitumineux de Bemolanga dans son état naturel présente des propriétés mécaniques médiocres en se référant aux spécifications du sand-asphalt. La stabilité Marshall tourne autour de 60kg alors que les spécifications exigent une valeur supérieure à 300kg. De même, la résistance à la compression n'arrive même pas à la moitié de celle recommandée. L'utilisation du grès bitumineux de Bemolanga à l'état naturel sans traitement en revêtement routier ne paraît pas envisageable, ses caractéristiques mécaniques sont faibles.

2. Influence de la température de chauffe

Dans cette étude nous avons essayé d'observer le comportement du grès bitumineux de Bemolanga soumis à différentes températures : 50°C, 100°C, 150°C et 200°C.

Tous les échantillons E1 jusqu'à E6 ont subi les mêmes traitements et tous les essais ont été réalisés dans les mêmes conditions. Seules les températures de chauffe les différencient.

2-1. Stabilité Marshall

2.1.1- Résultats

Le tableau n°5 suivant présente les valeurs de la stabilité Marshall des différents échantillons soumis à différentes températures de chauffe. L'évolution de la stabilité Marshall des échantillons en fonction de la température est donnée par la figure 13

Tableau n°5 : Stabilité Marshall en fonction de la température

	T° ambiante (25°C)	Température de chauffe			
		50°C	100°C	150°C	200°C
St E1 (kg)	65	251	533	733	553
St E2 (kg)	47	210	440	627	413
St E3 (kg)	64	370	707	787	700
St E4 (kg)	64	410	707	900	702
St E5 (kg)	62	380	720	790	690
St E6 (kg)	60	250	467	540	513

St E1 : stabilité Marshall de l'échantillon E1

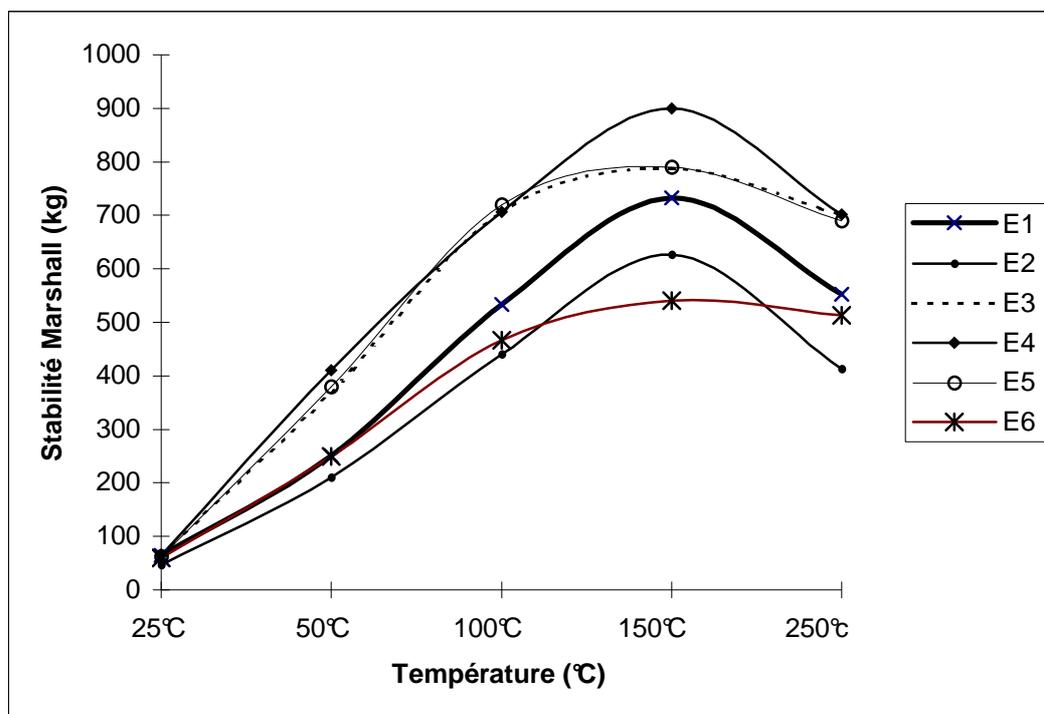


Figure n°12 : Evolution de la stabilité Marshall en fonction de la température.

2.1.2-Commentaires

- Une amélioration très significative de la stabilité du grès bitumineux de Bemolanga est enregistrée dès que celui-ci est chauffé. En chauffant à 50°C on note déjà une augmentation de la stabilité de 5 fois plus.
- L'optimum se trouve à 150°C et est confirmé par la tendance générale.

- En moyenne, on saute littéralement de 60 kg pour 25 °C à 600kg pour 100°C, on passe à l'optimum de 700kg à 150°C, pour descendre à 550 kg à 200°C.
- La stabilité optimale obtenue avec la température de chauffe de 150°C (700kg) dépasse largement le minimum exigé par la spécification du sand-asphalt (>300kg). Même à partir de 80°C environ (sur les courbes) on le dépasse déjà.
- L'amélioration de la stabilité se justifie par une meilleure répartition du bitume dans le mélange. En effet, celui-ci étant rendu plus fluide par la chauffe améliore l'enrobage des grains en entraînant la cohésion grain-liant plus favorable. De plus le bitume fluide remplit plus facilement les vides intergranulaires du sable.
- Pour une élévation de la température à 200°C, on s'aperçoit que la stabilité diminue. Le bitume contenu dans le mélange se désagrège par le départ d'une fraction d'huile volatile. La propriété liante du bitume diminue, et les grains de sable perdent ainsi la cohésion que doit apporter le bitume.
- L'échantillon traité à 200°C est d'apparence « maigre » et de couleur mate.

2-2. Compacité Marshall

2.2.1- Résultats

Le tableau n°6 ci-après indique les valeurs de la compacité Marshall de chaque échantillon suivant la température de chauffe.

Tableau n°6 : Compacité Marshall en fonction de la température

	Température ambiante (25°C)	Température de chauffe			
		50°C	100°C	150°C	200°C
CM E1 (%)	79	80	81	82	80
CM E2 (%)	75	76	76	78	76
CM E3 (%)	77	79	80	83	81
CM E4 (%)	79	80	85	85	83
CM E5 (%)	78	80	81	83	82
CM E6 (%)	75	77	80	83	79

CM E1 : Compacité Marshall de l'échantillon E1

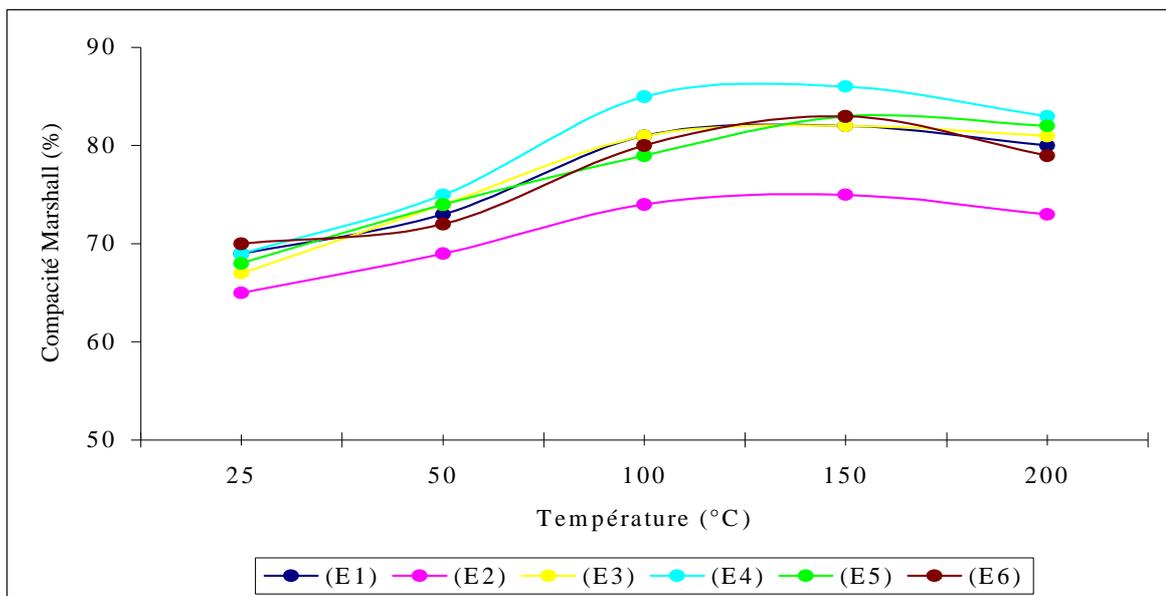


Figure n°13 : Evolution de la Compacité Marshall en fonction de la température

2.2.2-Commentaires

- La figure n° 14 montre qu'il y a bien une amélioration de la compacité Marshall en fonction de la température de chauffe. Cette tendance est confirmée par tous les échantillons à différents teneurs en bitume (E1, E2, E3, E4, E5, E6)
- L'allure générale des courbes est en cloche. On observe un optimum aux alentours de 150°C. En moyenne, la compacité augmente de 9% entre 25 et 150°C, puis elle descend tout doucement à partir de l'optimum de 150°C.
- Quoique significative, cette tendance sur l'amélioration de la compacité (CM E4=85%) ne satisfait pas encore la spécification du sand-asphalt exigeant une compacité Marshall supérieure à 87%.

Rappelons que l'eau est la première ennemie d'une chaussée. Aussi, les revêtements routiers doivent présenter une certaine compacité afin d'assurer l'imperméabilisation des sous-couches de la chaussée.

2-3. Résistance à la compression Duriez (Rc)

2.3.1- Résultats

Les valeurs de la résistance à la compression des échantillons par rapport à la température de chauffe sont représentées par le tableau n°7.

Tableau n°7 : Résistance à la compression Duriez en fonction de la température

	Température ambiante (25°C)	Température de chauffe			
		50°C	100°C	150°C	200°C
Rc E1 (Bars)	15,8	18,0	25,2	29,5	28,2
Rc E2 (Bars)	9,6	11,3	12,7	13,7	9,5
Rc E3 (Bars)	18,3	20,0	21,9	26,7	26,3
Rc E4 (Bars)	16,2	19,5	24,8	27,6	26,0
Rc E5 (Bars)	18,0	19,8	22,2	25,5	22,5
Rc E6 (Bars)	13,8	15,1	16	25,5	21,3

Rc E1 : Résistance à la compression à 7 jours de l'échantillons E1

La figure n°15 nous permet de suivre l'évolution de la résistance Duriez en fonction de la température.

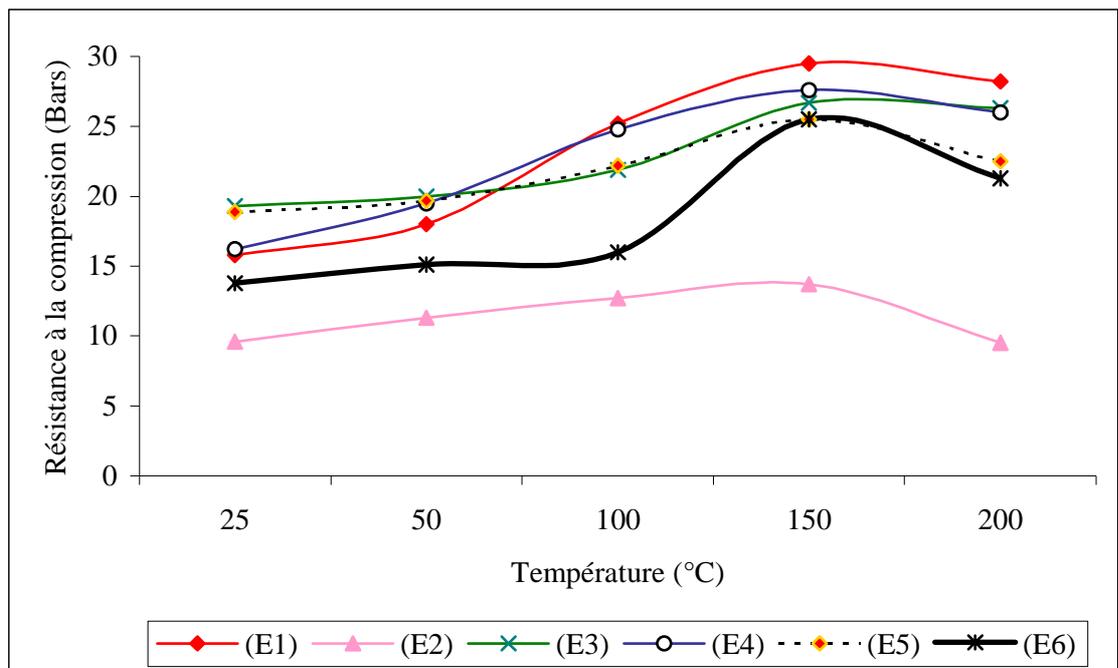


Figure n°14 : Evolution de la résistance à la compression en fonction de la température

2.2.2- Commentaires

- Les résistances à la compression Duriez de tous les échantillons augmentent en fonction de la température ; entre 25 et 150°C .A 200°C les résistances diminuent.

- Les différentes courbes de la figure 7 montrent un optimum aux alentours de 150°C. A cette température, on enregistre une résistance maximale de 29,5 bars pour l'échantillon E1.

- En général, à partir de 100°C on atteint déjà la spécification exigée pour le sand-asphalt (>20bars).

- Notons toutefois, les faibles valeurs obtenues pour E3, dues vraisemblablement à la teneur faible en liant (bitume) de ce dernier (L=5,8%) par rapport aux autres(L=8%).

2.4- Rapport "immersion- compression"

2.4.1- Résultats

Le tableau n°8 récapitule les résultats du rapport « immersion-compression » des échantillons soumis à différentes températures

Tableau n°8 : Rapport "immersion- compression" en fonction de la température

	T° ambiante (25°C)	Température de chauffe			
		50°C	100°C	150°C	250°C
R'c/Rc E1	0,67	0,65	0,67	0,72	0,60
R'c/Rc E2	0,64	0,60	0,75	0,46	0,60
R'c/Rc E3	0,57	0,65	0,70	0,65	0,77
R'c/Rc E4	0,52	0,40	0,78	0,85	0,86
R'c/Rc E5	0,55	0,49	0,60	0,55	0,66
R'c/Rc E6	0,67	0,50	0,58	0,55	0,54

R'c/Rc E1 : Rapport "immersion- compression" de l'échantillon E1

R'c : résistance à la compression après 7 jours d'immersion dans l'eau

Rc : résistance à la compression après 7 jours de conservation à l'air

La figure suivante montre l'effet de la température sur le rapport $R'c/Rc$.

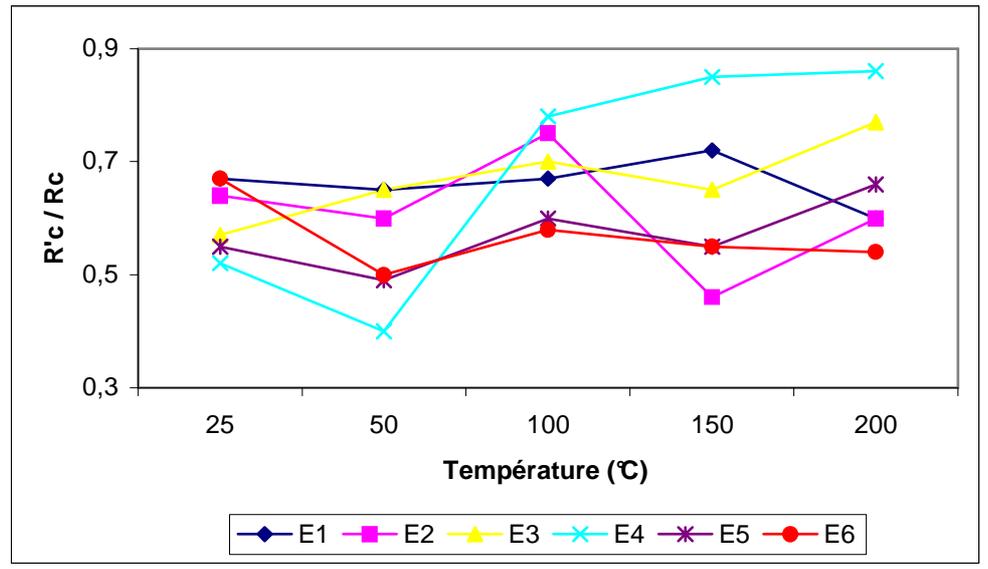


Figure n°15 : Evolution du rapport « immersion-compression » en fonction de la température

2.4.2- Commentaires

- Les valeurs de $\rho = R'c/Rc$ trouvées semblent être en dents de scie en fonction de la température. Il est difficile de trouver la tendance exacte. Les remarques concernant ce rapport dans le commentaire 1-2 du paragraphe II restent également valables.
- On a en moyenne une valeur maximale à 100°C (0,68) qui est tangente à la spécification de sand-asphalt (0,70).

2.5- Compacité Duriez

2.5.1- Résultats

Les valeurs de la compacité Duriez des échantillons après chauffage à différentes températures sont données dans le tableau n°9. La figure n°17 donne l'allure des courbes de la compacité Duriez en fonction de la température.

Tableau n°9 : Compacité Duriez en fonction de la température

	Température ambiante (25°C)	Température de chauffe			
		50°C	100°C	150°C	200°C
CD E1 (%)	66	76	79	80	80
CD E2 (%)	67	77	77	79	79
CD E3 (%)	70	80	80	80	78
CD E4 (%)	72	82	82	83	83
CD E5 (%)	69	79	80	83	83
CD E6 (%)	70	80	81	81	80

CD E1 : Compacité Duriez de l'échantillon E1

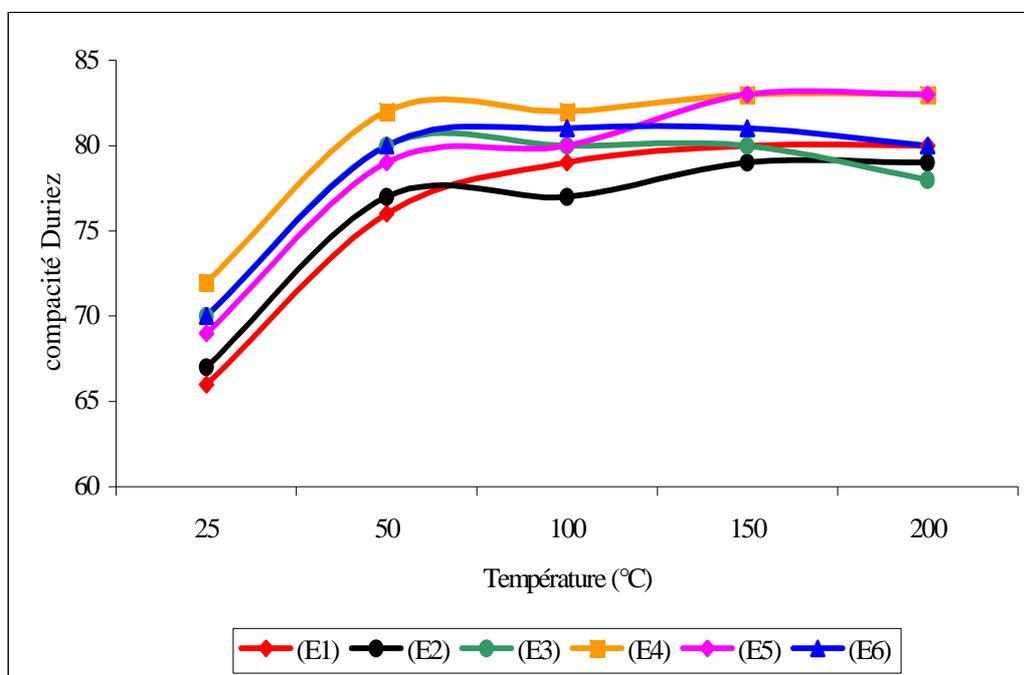


Figure n°16 : Evolution de la compacité Duriez en fonction de la température

2.5.2- Commentaires

On note également une amélioration de la compacité Duriez en fonction de la température. Cette augmentation de l'ordre de 17% entre 25 et 150°C .

En moyenne on obtient :

- à la température ambiante : CD =69%
- à 100°C : CD=80% (amélioration de 15%)
- à 150°C : CD=81% (amélioration de 17%)
- à 200°C : CD=81%

La compacité maximale obtenue(CD=83%)n'atteint pas la valeur spécifiée pour le sand-asphalt (>85%).

Il est à remarquer que les valeurs de la compacité Marshall sont légèrement supérieures que celles de la compacité Duriez. En effet, le taux de compactage des éprouvettes des deux essais sont différents.

3- Conclusions

L'étude en laboratoire du grès bitumineux de Bemolanga à l'état naturel sans ajout, permet de tirer les principaux renseignements suivants :

- Les grès bitumineux de Bemolanga possédant les meilleures caractéristiques mécaniques sont ceux présentant une teneur en liant (bitume)de 8 à 10%.
- La température de chauffe améliore de façon significative la propriété mécanique en général du grès bitumineux de Bemolanga quel que soit sa teneur en liant (amélioration de 2 à 10 fois plus)
- La température optimale se situe à150°C. Au-dessus de cette température, les propriétés mécaniques du grès bitumineux de Bemolanga tendent à diminuer.
- Le grès bitumineux de Bemolanga à teneur en liant de 8à10% chauffé à 150°C possède des caractéristiques mécaniques comparables à celles requises pour le sand-asphalt.

III- ETUDE DE GRES BITUMINEUX ELABORE AVEC MELANGE DE GRANULATS

Notre investigation s'est poursuivie et nous avons étudié le comportement du grès bitumineux de Bemolanga avec ajout de granulats. L'objectif visé étant l'élaboration d'un béton bitumineux (enrobé dense à chaud) pour revêtement routier plus performant et capable de résister aux trafics élevés.

Dans cette partie, il sera étudié l'influence de la nature des gravillons et l'influence de la formulation.

1- Les matériaux d'expérimentation

- le grès bitumineux de Bemolanga E4 (% liant 9,4%)
- les gravillons de granites provenant d'Antananarivo
- les gravillons de calcaires provenant de Mahajanga
- les gravillons de basaltes provenant de Toamasina

Le tableau n° 10 suivant récapitule les différentes caractéristiques des gravillons utilisés

Tableau n°10 : Caractéristiques des gravillons d'apport.

Nature de gravillons Caractéristiques	Granite		Calcaire		Basalte	
	Classe théorique	5/8	8/12,5	5/8	8/12,5	5/8
Classe réelle	3/8	6/12,5	4/10	8/14	5/8	8/12,5
Poids spécifique (T/m³)	2,71	2,80	2,50	2,53	2,85	2,88
Coefficient d'aplatissement	21	19	21	38	8	18
Coefficient Los Angeles	44	42	45	40	16	12

Les courbes granulométriques de ces gravillons sont présentées sur la figure n° 18 suivante.

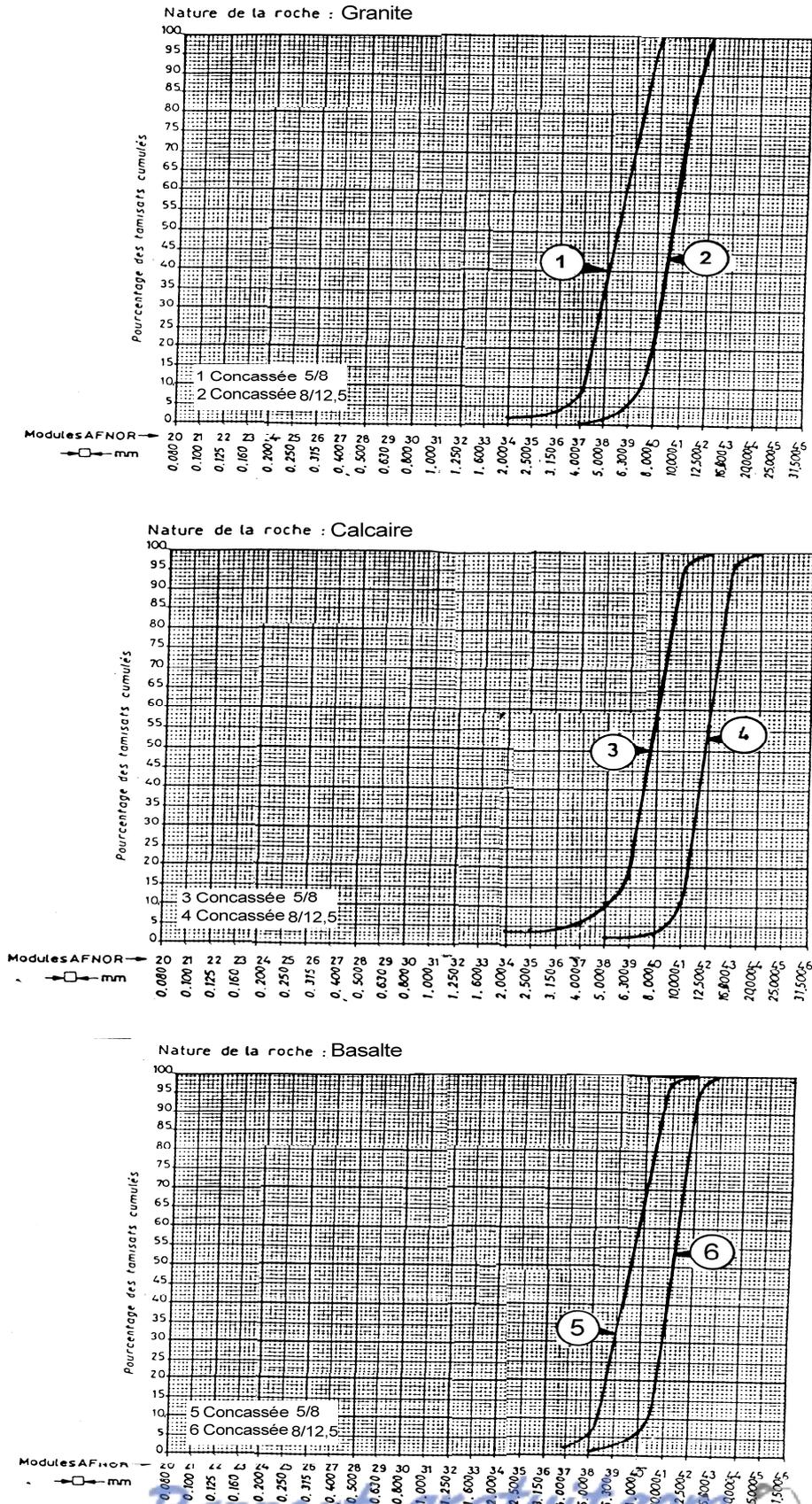


Figure n°17 : Courbes granulométriques des gravillons d'apport

2- Influence de la nature des gravillons

Afin de voir l'influence de la nature des gravillons, nous avons fixé arbitrairement la composition des mélanges :

- Grès bitumineux de Bemolanga : 70%
- Gravillons 5/8 : 10%
- Gravillons 8/12,5 : 20%

A partir de ces mélanges nous avons confectionné des éprouvettes Marshall et Duriez pour les 3 types de granulats.

2.1-Résultats

Le tableau n°11 présente les caractéristiques mécaniques des mélanges grès bitumineux de Bemolanga, gravillons en fonction de la nature de ces derniers.

Tableau n°11 : Caractéristiques Marshall et Duriez en fonction de la nature des gravillons.

Caractéristiques mécaniques	Nature des gravillons		
	Granite	Calcaire	Basalte
<u>1- Essai Marshall</u>			
- Compacité (%)	86	87	87
- Stabilité (kg)	840	1 073	927
- Fluage (mm)	2,9	2,6	3,1
<u>2- Essai Duriez</u>			
- Compacité (%)	84	83	84
- Rc (bars)	21,4	25,3	23,1
- R'c/Rc	0,44	0,59	0,52

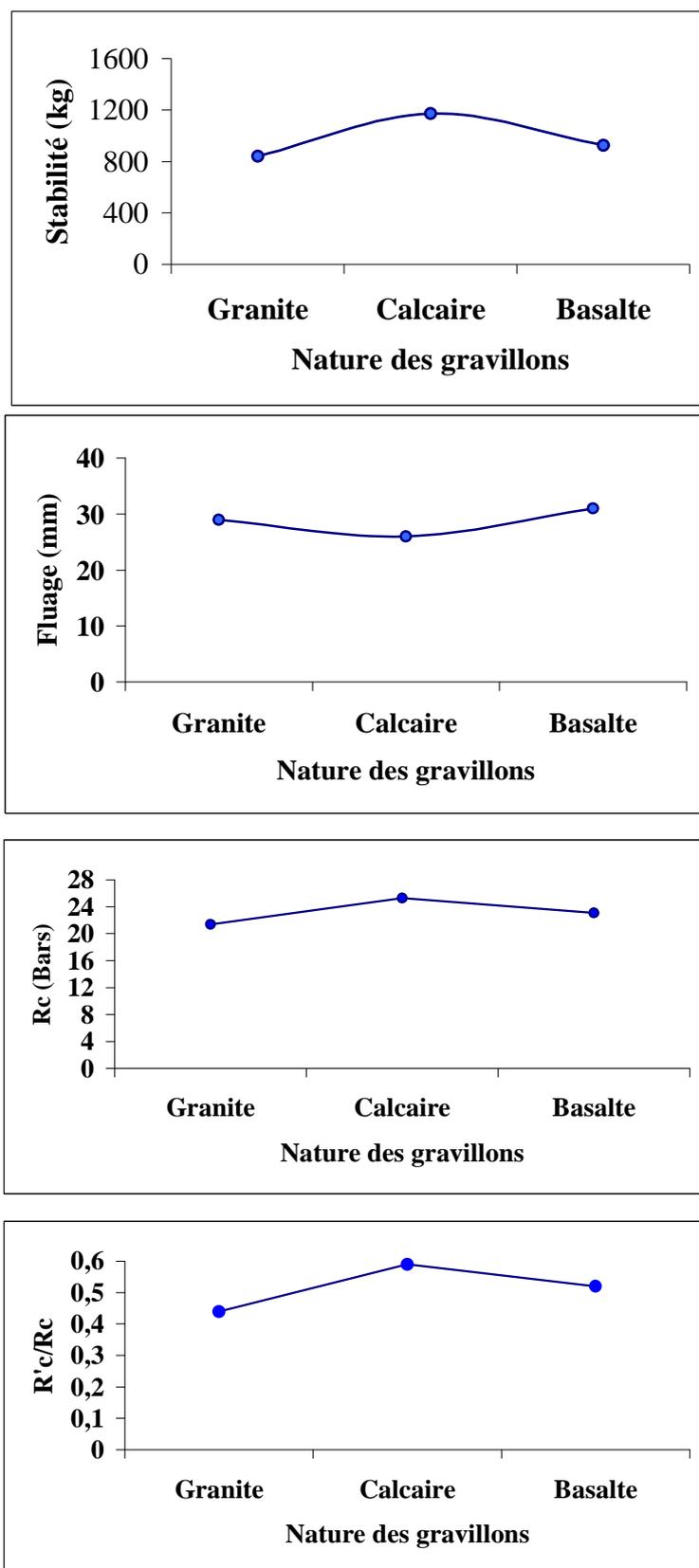


Figure n°18 : Evolution des caractéristiques Marshall et Duriez en fonction de la nature des granulats.

2.2- Commentaires

- Le tableau n°11 et la figure n°19 montrent que c'est avec les gravillons d'origine calcaire qu'on obtient de meilleurs résultats par rapport aux 2 autres types de gravillons (granite, basalte).
- La stabilité pour le mélange avec du calcaire est de 1073kg alors que pour le granite elle n'est que de 840kg et pour le basalte celle-ci est de 927kg. De même pour la résistance à la compression, avec le calcaire on trouve 25,3 bars, pour le granite on a 21,4 bars et pour le basalte 23,1 bars.
- Cette affinité du grès bitumineux de Bemonlanga par rapport aux gravillons calcaires qui sont des minéraux cationiques, c'est à dire présentant en surface des ions positifs, peut s'expliquer par le fait que le bitume contient de l'acide naphthénique qui est un produit anionique (présente en surface des ions négatifs)

3- Influence de la formulation

Afin d'examiner l'influence de la formulation nous avons entrepris les étapes suivantes :

- Détermination des compositions granulométriques du squelette minéral du mélange, en tenant compte :
 - D'une part, de la répartition granulométrique de chaque granulat.
 - D'autre part, du fuseau granulométrique de référence pour l'enrobé 0/12,5 classique.
- Variation des pourcentages du grès bitumineux de Bemonlanga
- Vérification des caractéristiques Duriez et Marshall des mélanges obtenus.
- Il est à remarquer que pour un enrobé dense classique la teneur en bitume est de l'ordre de 5 à 7%. Pour obtenir cette teneur, il faudrait mettre dans le mélange au moins 55% de grès bitumineux de Bemonlanga (teneur en liant 9%).
- A partir de ces différentes considérations nous avons testé 3 formules, dont les compositions sont données dans le tableau suivant.

Tableau n°12 : Formules étudiées

Formule Constituants	F1	F2	F3
Grès bitumineux de Bemolanga (%)	55	65	75
Gravillon calcaire 5/8 (%)	20	15	10
Gravillon calcaire 8/12,5 (%)	25	20	15

3.1-Résultats

Les caractéristiques mécaniques des mélanges étudiées en fonction de la formulation sont synthétisées dans le tableau ci-dessous.

Tableau n°13 : Caractéristiques Marshall et Duriez en fonction des formulations

Formule Caractéristiques	F1	F2	F3
1- Marshall			
Compacité (%)	84	89	86
Stabilité (Kg)	980	1080	1000
Fluage (mm)	3,2	2,6	3,0
2- Duriez			
Compacité (%)	84	85	82
Rc (Bars)	25,8	29,2	28
R'c/Rc	0,43	0,58	0,45

3.2- Commentaires

Parmi les 3 formules étudiées, celle utilisant 65% de grès bitumineux de Bemolanga (F2) possède les meilleures caractéristiques mécaniques.

Pour la stabilité Marshall, la formule F2 atteint 1080Kg. Alors que pour F1 (55% de grès bitumineux de Bemolanga) elle est de 980Kg et pour F3 (75% de grès bitumineux de Bemolanga) la stabilité est de 1000Kg.

Cette tendance est généralisée pour les autres caractéristiques, comme le montre le tableau n° 13.

En comparant le mélange F2 avec l'échantillon témoin E4 (sans ajout) nous pouvons constater que l'apport des gravillons en calcaires à améliorer de façon tangible les caractéristiques mécaniques.

- Augmentation de 20% pour la stabilité Marshall (900 kg pour E4 contre 1080 kg pour F2)
- Amélioration de 5 % pour la compacité Marshall (85% pour E4, 89% pour F2)

4- Influence de l'ajout d'un bitume routier

Suite à l'examen visuel des éprouvettes Marshall et Duriez confectionnées où l'on constatait, l'aspect mat du mélange, et la cohésion insuffisante du grès bitumineux de Bemolanga avec les gravillons, nous avons introduit au mélange du bitume pur.

Le but visé est de voir la compatibilité du bitume contenu dans le grès et le bitume routier classique.

Le mélange défini par la formule F2 étudié précédemment a été pris, comme base.

Un ajout de 1 et 2% de bitume 60/70 (disponible au laboratoire) a été effectué sur le mélange F2.

4.1- Résultats

Le tableau n° 14 présente les caractéristiques Marshall et Duriez des mélanges étudiés en fonction de l'ajout de bitume pur.

Tableau n°14 : Caractéristiques Mashall et Duriez en fonction de l'ajout de bitume pur.

	Ajout de bitume pur		
	0%	1%	2%
1- Marshall			
Compacité (%)	89	90	92
Stabilité (Kg)	1080	1220	1270
Fluage (mm)	2,6	2,2	2,0
2- Duriez			
Compacité (%)	85	88	89
Rc (Bars)	29,2	38,8	40,8
R'c/Rc	0,58	0,60	0,70

4.2- Commentaires

Le tableau n°14 montre qu'une addition de bitume pur dans le mélange grès bitumineux de Bemolanga avec gravillons, améliore les propriétés mécaniques en général.

Entre 0 à 2% d'ajout de bitume pur :

- La stabilité Marshall augmente de 13%
- La résistance à la compression accroît de 39%
- La compacité augmente de 5%
- Le rapport R'c/Rc augmente de 20%

On peut donc retenir que le bitume contenu dans le grès bitumineux de Bemolanga peut s'associer sans inconvénient avec les bitumes classiques purs.

Notons que l'optimum n'a pas pu être déterminé faute de temps matériel.

5- Influence de l'ajout d'un dope

Nous avons essayé de voir l'influence d'un ajout de dope dans le mélange grès bitumineux de Bemolanga et gravillons.

Le dope utilisé est le POLYRAM L 200 disponible au laboratoire. Sa notice technique préconise une utilisation de 2% par rapport au liant.

Le dope a été mélangé dans le grès bitumineux de Bemolanga.

La formule F2 (65% de grès bitumineux de Bemolanga) a été prise comme base d'étude

5.1- Résultats

Les résultats obtenus sont synthétisés dans le tableau ci-dessous.

Tableau n°15 : Caractéristiques mécaniques en fonction d'un ajout de dope

Formule Caractéristique	F2	F2 + 2% dope
1- Marshall		
Compacité (%)	89	88
Stabilité (Kg)	1080	1085
Fluage (mm)	2,6	2,7
2- Duriez		
Compacité (%)	85	85
Rc (Bars)	29,2	30,2
R'c/Rc	0,58	0,59

5.2- Commentaires

Le dopage ne semble pas avoir d'influence sur les caractéristiques mécaniques du grès bitumineux de Bemolanga.

CONCLUSIONS GENERALES

Le but de ce travail était de déterminer les conditions optimales d'utilisation du grès bitumineux de Bemolanga en vue de son utilisation en technique routière.

Pour cela, des séries d'essais en laboratoire ont été réalisées au Laboratoire National des Travaux Publics et du Bâtiment (LNTPB) ; d'une part, sur le matériau à l'état naturel sans aucun apport et d'autre part, sur le matériau élaboré avec apport d'autres constituants tels que les gravillons, le bitume.

Les essais préalables d'extraction nous ont permis de constater que le grès bitumineux de Bemolanga que nous avons prélevé sur les 3 principaux sites présente des teneurs en liant différentes :

- pour la carrière au panneau C3 : % liant = 9%
- pour la carrière DRIEZ : % liant varie de 5 à 11%
- pour la carrière Mitsiotaka : % liant = 9%

Le résidu minéral formant le squelette est constitué d'un sable siliceux mal gradué à grains plus ou moins arrondis. La classe granulaire varie de 0/2 à 0/5

Pour la première phase d'étude c'est à dire le comportement du grès bitumineux de Bemolanga naturel sans ajout, nous pouvons retenir les points essentiels suivants :

- Le grès bitumineux de Bemolanga possédant une teneur en liant de 9% possède les meilleures propriétés mécaniques.
- La température de chauffe améliore efficacement les propriétés mécaniques du grès bitumineux de Bemolanga, selon les essais Marshall et Duriez
- La température optimale est de 150°C. Au-dessus de cette température le matériau se désagrège et ses propriétés tendent à diminuer.

Les propriétés du grès bitumineux de Bemolanga à une teneur en liant de 9% et chauffé à 150° C sont comparables aux spécifications requises pour un sand-asphalt. Sauf, pour la compacité qui peut être amélioré par un ajout de filler.

Pour la deuxième phase d'étude (grès bitumineux de Bemolanga élaboré avec d'autres matériaux) nous retenons particulièrement que :

- Le grès bitumineux de Bemolanga présente une bonne affinité avec les gravillons de calcaire par rapport à ceux du granite ou du basalte.
- Le mélange du grès bitumineux de Bemolanga avec des gravillons en vue d'élaborer un enrobé dense à chaud nécessite un pourcentage de 65% de grès bitumineux de Bemolanga de teneur en liant 9%.
- L'ajout d'un bitume pur 60/70 au mélange : grès bitumineux de Bemolanga et gravillons améliore considérablement les propriétés mécaniques. Les résultats que nous avons obtenus en laboratoire (avec un ajout de 2% de bitume) sont comparables aux performances d'un enrobé dense à chaud classique utilisé à Madagascar.
- L'ajout d'un dope (POLYRAM L 200) n'a pas d'influence majeure sur le comportement du grès bitumineux de Bemolanga.

En ce qui concerne les visites de reconnaissances que nous avons effectuées sur le site, nous pouvons noter la grande difficulté d'accès au gisement, notamment la route reliant Morafenobe à Bemolanga qui présente plusieurs points noirs. L'accès au gisement est impossible en saison pluvieuse.

Bref, les résultats de nos expérimentations en laboratoire montrent que le grès bitumineux de Bemolanga traité à certaines conditions pourrait être utilisé en couche de revêtement d'une route.

Nous estimons que les résultats que nous avons obtenus sont suffisamment intéressants et prometteurs, pour que ce travail soit poursuivi en vue d'une application effective.

Dans ce sens, nous pensons que les études de laboratoire doivent être continuées par l'étude d'un ajout d'un filler (chaux, ciment, fines de concassage) qui améliorerait la compacité par un meilleur remplissage des vides inter granulaires.

Par la suite, après ces études en laboratoire, il serait intéressant d'appliquer ces résultats sur un tronçon de route expérimentale afin que l'on puisse, d'une part, juger les comportements réels du grès bitumineux de Bemolanga sous l'effet des trafics et de l'environnement et d'autre part, de déterminer les données technico-économiques indispensables à leur vulgarisation.



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. OMNIS, *Répartition en blocs du gisement de grès bitumineux de Bemolanga*.
2. OMNIS, *Technical data sheet Bemolanga tar sand deposit*.
3. RABE Christian, RALIDERA Clément, LNTPB Madagascar, *Etude préliminaire en laboratoire pour la détermination du comportement mécanique du grès bitumineux de Bemolanga*, 2^{ème} Congrès Malgache de la Route, 1997.
4. AFNOR (Association Française de la Normalisation), *Exécution des corps de chaussées, couches de liaison et couches de roulement*, NFP 98-150, déc 1992, 154p.
5. DURIEZ M., ARRAMBIDE J., *Nouveau traité de matériaux de construction*, Tome 3, DUNOD, 1962.
6. LIAUTAUD J., *Les revêtements routiers en Afrique tropicale*, CEBTP, 1971, 27p.
7. LNTPB Madagascar, *Méthodologie de reconnaissance et d'essai*, 1986.
8. SETRA, LCPC, *Mémento des spécifications françaises sur les chaussées*, Paris 1991, 68p.
9. LCPC et SETRA, *Réalisation des enduits superficiels*, 1978, 47p.
10. LBTP Côte d'Ivoire, *Recommandation pour le choix, l'étude et la réalisation des couches bitumineuses de surface, 1^{ère} partie : les sand-asphalts*, mai 1978.
11. LCPC de Paris, *Bitumes et enrobés bitumineux*, 1972, 450p.
12. PELTIER R., *Manuel du laboratoire routier*, Paris, DUNOD, 1965, 291p.
13. LCPC de Paris, *Spécial enduits superficiels*, 1975.
14. DUPAIN R., LAUCHON R., SAINT-ARROMAN J.C., *Caractérisation des matériaux en génie civil par des essais de laboratoire*, 1995.
15. PHILIPPONAT G., *Bitumes et enrobés, 1^{ère} partie : caractéristiques physiques principales des bitumes et enrobés*, chronique du LNTPB n°6, 1973.

16. BEYLOT G., *Rapport sur les essais de préparation de bitume routier*, Société des Pétroles de Madagascar, sept 1962, 24p.
17. Centre Expérimental de Recherches et d'Etudes du Bâtiment et des Travaux Publics (CEBTP), *Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux*, 1984, 157p.
18. DEBYSER, CALIFET, DEROU, *Etude de la formation des bitumes de Bemolanga, fascicule 2*, Institut Français du Pétrole, oct. 1969, 17p.
19. Groupement Professionnel des Bitumes, *Bitume actualités n°91*, juin 1990.
20. KLOCKNER Industrie, OMNIS, *Rapport préliminaire Géologie Mine*, 1981.
21. MORAND J., *Etude bibliographique sur la composition chimique des bitumes*, Bulletin LCPC n°22, nov- déc 1966.
22. OLIVIER Emile, *Technologie des matériaux de construction*, Tome 2, Paris, Entreprise Moderne d'Édition, 1976, 313p.
23. VAN ASBECK, *Le bitume dans les travaux hydrauliques*, Paris, DUNOD, 1962, 164p.

MEMOIRE DE DEA

Sciences des Matériaux

Nom : RABE Christian Andrisoa Zoé

Adresse : Logt 79 cité Ambohipo, 101 Antananarivo Madagascar

Titre : EXPERIMENTATION EN LABORATOIRE SUR L'UTILISATION ROUTIERE DU GRES BITUMINEUX DE BEMOLANGA

RESUME

Ce travail entrepris au Laboratoire National des Travaux Publics et du Bâtiment (LNTPB) contribue à l'étude du grès bitumineux de Bemolanga en vue de son utilisation en technique routière.

Une visite de reconnaissance du gisement et de son environnement est présentée ainsi que les trois carrières ayant fait l'objet de prélèvement d'échantillons (carrière Driez, carrière au panneau C3, carrière Mitsiotaka)

Nous étudions différents paramètres afin de déterminer les conditions optimales d'emploi du grès bitumineux de Bemolanga en technique routière. Ces paramètres sont : la teneur en liant, la température, la nature des gravillons d'apport, la formulation, l'ajout de bitume et l'adjonction d'un dope.

Les résultats d'essais au laboratoire montrent que le grès bitumineux de Bemolanga traité à certaines conditions pourrait être utilisé en revêtement d'une route.

Il reste à examiner l'influence de l'ajout d'un filler pour améliorer la compacité et la réalisation d'un tronçon expérimental de route pour juger les comportements réels du grès bitumineux de Bemolanga vis à vis des diverses agressions.

Mots clés : sciences des matériaux, matériaux de construction, chimie, route, matériau hydrocarboné, bitume, grès, sand-asphalt, enrobé dense à chaud, carrière, dope, essais Marshall, essais Duriez, gisement.

Directeur de mémoire : RANAIVONARIVO Gabriely, Maître de Conférence
Chef de Département Sciences des Matériaux et Métallurgie

Nombre de pages : 70

Nombre de tableaux : 15

Nombre de figures : 19

Nombre de photographies : 2